Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d’œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s’inscrit dans le cadre de la loi nº 78-753 du 17 juillet 1978 :

- **la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr)**
- **la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l’objet d’une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.**

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- **les reproductions de documents protégés par le droit d’auteur, uniquement consultables dans l’enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l’autorisation préalable du titulaire des droits.**

4- Pour obtenir la reproduction numérique d’un document du Cnum en haute définition, contacter cnum(at)cnam.fr

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Exposition universelle. 1867. Paris
Auteur(s)	Exposition universelle. 1867. Paris
Titre	Etudes sur l'Exposition universelle de 1867 ou les archives de l'industrie au XIXe siècle. Description générale, encyclopédique, méthodique et raisonnée de l'état actuel des arts, des sciences, de l'industrie et de l'agriculture chez toutes les nations. Recueil de travaux techniques, théoriques, pratiques et historiques
Nombre de volumes	10
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE172
Adresse	Paris : Librairie scientifique, industrielle et agricole Eugène Lacroix, 1867
Collation	10 vol.
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 172
Sujet(s)	Exposition internationale (1867 ; Paris) Industrie -- 19e siècle Agriculture -- 19e siècle Technologie -- 19e siècle
Note	1er volume de la deuxième édition

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Exposition universelle. 1867. Paris
Titre	Etudes sur l'Exposition universelle de 1867 ou les archives de l'industrie au XIXe siècle. Description générale, encyclopédique, méthodique et raisonnée de l'état actuel des arts, des sciences, de l'industrie et de l'agriculture chez toutes les nations. Recueil de travaux techniques, théoriques, pratiques et historiques
Volume	Etudes sur l'Exposition de 1867 annales et archives de l'industrie au XIXe siècle nouvelle technologie des arts et métiers, des manufactures, de l'agriculture, des mines etc. 8e série. Fascicules 36 à 40
Adresse	Paris : Librairie scientifique, industrielle et agricole Eugène Lacroix, 1869
Collation	1 vol. (575 p.) ; 24 cm
Nombre d'images	576
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 172 (8)
Sujet(s)	Exposition internationale (1867 ; Paris) Industrie -- 19e siècle Agriculture -- 19e siècle Technologie -- 19e siècle
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	27/01/2021
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE172.8

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BIBLIOTHÈQUE

L

MACHINES-OUTILS

A TRAVAILLER LE BOIS

PAR MM. **A. RAUX** et **L. VIGREUX**

Ingénieurs civils.

Pl. 94, 199, 204, 205, 206, 207.

Nous ferons précéder notre aperçu historique sur les scieries mécaniques de quelques considérations théoriques sur l'outil proprement dit.

Les tranchants des outils qui travaillent le bois en le corroyant étant formés, comme nous l'avons dit précédemment, d'une série de dents extrêmement fines, on comprend facilement que leur action peut être rendue plus rapide pour le débitage du bois en augmentant les dimensions des dents dont ils sont formés. On obtient alors cet outil si connu et si ancien qu'on nomme la *scie*. Les lames de scie sont en acier laminé trempé dur et détrempé ensuite à chaque extrémité, afin d'empêcher qu'elles ne cassent aux endroits où elles cessent d'être pincées par la monture. Les dents de la scie agissent comme des rabots étroits, et chacune d'elles suit le sillon tracé par l'une des dents précédentes. Mais si les dents étaient toutes placées dans le plan de la lame dont la largeur et l'épaisseur sont uniformes, il s'ensuivrait un frottement considérable de la lame contre le bois. C'est pour éviter ce frottement et loger en même temps la sciure, que l'on a dévié les dents alternativement à gauche et à droite, ce que l'on appelle donner de la *voie*. Celle-ci varie avec la dureté des bois que l'on travaille ; elle est, en outre, beaucoup plus grande lorsque le trait de scie doit être courbe, comme avec la scie à *chantourner*, que lorsqu'il doit être rectiligne. La voie doit être alors la plus grande possible, en restant toujours moindre que le double de l'épaisseur de la lame. La voie est encore plus large, lorsque la scie doit travailler des bois tendres, que lorsqu'il s'agit de débiter des bois durs.

La forme des dents varie suivant que la scie doit travailler dans un seul sens ou dans les deux sens ; elles ne sont pas symétriques dans le premier cas, dont la scie de menuisier fournit un exemple, et sont symétriques, en forme de triangle isocèle, dans le second cas, comme dans la scie de charpentier. Dans ce dernier genre d'outil, l'angle au sommet varie de 30° à 60°, tandis qu'il est de 45° environ dans la scie de menuisier. La denture est encore symétrique dans les scies à chantourner ; les dents ont la forme d'un triangle équilatéral, et on les affûte avec le tiers-point perpendiculairement à la lame.

Lorsque le trait de scie est rectiligne, les dents doivent avoir la même saillie et la même voie, sans quoi quelques-unes seulement travailleraient, et l'usure serait inégale. Il n'en est plus de même pour les scies à chantourner, dans lesquelles les dents du milieu travaillent plus que les dents des extrémités ; on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donne alors aux lames dont le dos est uni et droit une courbure en arc de cercle dont la convexité est occupée par les dents.

Nous avons dit plus haut que la voie n'était pas seulement utile pour éviter le frottement de la lame contre le bois, et qu'elle permettait en outre de donner de la place à la sciure. Mais il arrive souvent que le volume ainsi laissé libre est insuffisant, surtout lorsque les bois sont tendres et que la pièce a une grande hauteur, comme dans le débitage du bois en grume. On laisse alors un vide entre les dents, et l'intervalle comprenant un vide et un plein se nomme le *pas* des dents.

Le calcul des dimensions des dents se fait de la manière suivante : Supposons que la scie avance par chaque coup de $0^m,0025$, et que la hauteur de la pièce de bois à débiter soit de $0^m,30$, la surface de sciage s correspondant à un coup de scie sera :

$$s = 300^{mm} \times 2^{mm},5 = 750 \text{ millimètres carrés.}$$

Admettons en outre que les dents qui travaillent dans une course simple soient au nombre de 20, ce qui donne 40 dents travaillant pendant une course complète comprenant l'aller et le retour, la surface de sciage s correspondant à une dent sera :

$$s = \frac{750}{40} = 19 \text{ millimètres carrés.}$$

D'un autre côté, le pas p est égal à $\frac{60^c}{40} = 1^c,5$; et si l'on suppose que le pas est composé d'un plein et d'un vide égaux, la longueur de la dent sera $\frac{1^c,5}{2}$ ou $0^m,0075$.

Pour obtenir la profondeur des dents de la scie, il ne nous reste plus qu'à diviser la surface de sciage, 19 millimètres carrés, correspondant à une dent, par la longueur $0^m,0075$ de cette dent ; on obtient ainsi $2^{mm},5$ pour la profondeur cherchée, en admettant que la sciure conserve le même volume que le bois ; mais comme ce volume devient trois à cinq fois plus grand, nous multiplierons la profondeur trouvée par 4, par exemple, et nous obtenons $0^m,0025 \times 4 = 0^m,01$ pour la profondeur définitive des dents de la scie.

L'épaisseur des lames est généralement de $0^m,002$, et la voie de $0^m,0035$ pour le débitage des bois tendres ; elle est de $0^m,0025$ et $0^m,003$ pour le débitage des bois durs.

Le travail moteur exigé par le mouvement de la scie étant 2, lorsque la sciure est mal logée, et 1,5 lorsque, au contraire, la sciure peut occuper librement son volume, il est important d'avoir une voie convenable pour chaque nature de course. Le travail exigé par le sciage étant, de plus, proportionnel au volume de la sciure produite, la voie doit être aussi petite que possible. Cette règle n'existe plus pour le sapin, et on donne dans ce cas une voie plus considérable à la scie.

La tension de la lame doit pouvoir se régler à volonté, aussi bien pour les scies à main que pour les scies mécaniques. Quant à sa longueur, elle doit être égale à la course augmentée de l'épaisseur de la pièce à débiter, ou plus grande que cette quantité. La course elle-même est théoriquement égale à l'épaisseur de la pièce ; mais, afin que toutes les dents se dégagent à chaque course et s'échauffent le moins possible, on fait la course plus grande que l'épaisseur du bois.

Nous terminerons ici ces données générales sur les conditions auxquelles doit satisfaire la scie, pour nous occuper de l'historique des machines à scier ou scieries mécaniques.

Les premières scieries mécaniques remontent à une époque déjà éloignée ; elles ont été établies tout d'abord dans les pays où l'abondance des bois néces-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sitait une grande rapidité dans leur travail, en même temps que de nombreux cours d'eau à grandes chutes rendaient facile l'application du travail mécanique et évidente l'économie qui en résulte. Ce fut donc dans les pays de montagnes, couvertes alors d'immenses forêts (il n'en est malheureusement plus ainsi), qu'on construisit les premières machines à scier. Le but qu'on se proposa tout d'abord fut naturellement d'obtenir par un moyen mécanique le mouvement de va-et-vient de la scie des scieurs de long ; de là, les scieries mécaniques à mouvement alternatif qui longtemps furent les seules en usage. Destinées à un grossier travail, établies souvent par les ouvriers du pays, étrangers à l'art de la construction, encore peu développé, ces machines présentaient de grands défauts d'exécution, un agencement souvent naïf et une disposition générale à laquelle on a renoncé beaucoup plus tard. Cette disposition ayant pour but de transformer un mouvement circulaire continu en mouvement rectiligne alternatif, on employa le moyen qui se présenta à l'esprit de Newcomen lorsqu'il fit la première machine à vapeur : nous avons nommé le balancier. Celui-ci, oscillant autour d'un axe horizontal, était mis en mouvement par un arbre coudé auquel il était réuni à l'une des extrémités par une bielle, tandis que l'autre extrémité supportait, au moyen d'une seconde bielle, le châssis de la scie guidée dans son mouvement par des coulisseaux en bois. L'arbre coudé recevait son mouvement de rotation d'une roue hydraulique à peine ébauchée et tournant avec une très-grande vitesse. Enfin, le bois était porté par un grossier chariot s'avançant à chaque coup de scie et recevant son mouvement rectiligne horizontal par une corde qui s'enroulait sur un treuil commandé par une roue à rochet qu'un cliquet, mû par le châssis de la scie ou le balancier, faisait tourner. On trouve encore dans certains pays de montagnes, en Suisse surtout et même en France, de semblables scieries.

Ce n'est qu'en 1799, nos recherches du moins nous l'indiquent, que l'on pensa à substituer des lames de scie sans fin, c'est-à-dire à mouvement continu, aux lames de scies droites. La première de ces scies est une scie circulaire pour laquelle un sieur Albert prit un brevet en France, à l'époque que nous avons citée. Nous pensons cependant que la scie circulaire est antérieure à cette époque, car l'inventeur insiste plus sur la fabrication de la scie circulaire qu'on a été longtemps dans l'impossibilité d'obtenir avec de grandes dimensions, que sur la scierie proprement dite.

Le moyen que propose le sieur Albert consiste à établir d'abord un corps de scie en tôle de 0^{m},001 d'épaisseur et d'un petit rayon. Sur toute la circonférence de ce cercle de tôle, il pratique une rainure dans laquelle s'assemblent à biseau des parties de secteurs circulaires aussi en tôle et dont les arcs extrêmes forment une même circonférence. Cette circonférence possède une rainure, comme le cercle en tôle, dans laquelle s'assemblent des parties de secteurs en tôle d'acier dont les arcs extrêmes forment une circonférence concentrique aux deux premières. C'est sur cette dernière circonférence que sont tracées les dents de la scie. Cette disposition permettait d'augmenter le diamètre de la scie en ajoutant des secteurs de tôle les uns aux autres, et une dernière rangée de secteurs en acier, formant la scie ; le tout était soudé à l'étain.

La machine proprement dite se compose d'un bâti horizontal en bois, portant à l'une de ses extrémités deux forts montants verticaux sur lesquels sont placés les paliers ou plutôt, comme le dit l'inventeur, les poupées de l'arbre portant la scie. A l'une de ses extrémités, cet arbre porte la poulie de commande ; en son milieu, une embase sur laquelle la scie est appliquée ; des rondelles de cuivre sont placées contre la scie et serrées sur elle par un écrou. A l'autre extrémité, le même arbre porte un pignon qui, par une série de roues dentées, commu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nique le mouvement à un arbre horizontal placé sous le bâti. Cet arbre porte un pignon qui engrène avec une crémaillère fixée au chariot. Celui-ci glisse dans des rainures pratiquées dans les longrines du bâti.

De 1799 à 1811, les scieries mécaniques ne paraissent pas avoir été l'objet de recherches suivies ; ce n'est qu'à cette dernière date qu'un sieur Tschaggeny prit un brevet pour un *moulin-scie à manége propre à débiter les bois en planches de différentes épaisseurs*. La scierie pour laquelle cet inventeur prit un brevet, est une scierie à mouvement alternatif et se compose d'un balancier à chaînes, comme celui de la machine à vapeur de Newcomen, commandé par l'arbre moteur placé à la partie supérieure de la machine. L'arbre moteur porte des cames qui viennent soulever le balancier par l'intermédiaire de cinq dents placées sur ce dernier. A l'extrémité de la chaîne se trouve fixé le châssis porte-lames au nombre de quatre.

Le bois à débiter est placé dans une caisse, sur les parois latérales de laquelle sont fixés des rouleaux verticaux sur lesquels on place des coulisses. La pièce s'applique sur l'une des coulisses et elle est séparée de la seconde par des griffes dont la longueur varie avec la largeur du bois, et qui détermine une forte pression sur le bois et les coulisses. Le frottement de roulement est ainsi substitué au frottement de glissement; car il n'y a contact du bois avec la caisse que sur les rouleaux latéraux. Le mouvement d'avancement du bois est obtenu à l'aide d'une crémaillère fixée sur l'une des coulisses et engrenant avec un pignon calé sur un arbre horizontal qui porte, en outre, une roue à rochet, munie d'un déclic et commandée par un levier mis en mouvement par le châssis de la scie. Ce dernier est muni de plusieurs trous dans lesquels s'engage le levier commandant la roue à rochet, de façon à ce que l'on puisse varier à volonté la vitesse de l'avancement.

L'inventeur pensait que deux chevaux pouvaient mettre en mouvement cent vingt scies à la fois, ce qui nous paraît exagéré.

Ainsi qu'il est facile de le voir, cette scierie présentait de grands inconvénients en dehors de la disposition générale, c'est-à-dire de l'emploi d'un balancier, auquel on a renoncé, ainsi que nous le verrons plus tard.

Par suite de l'emploi des chaînes, le mouvement de la scie était incertain et le débitage du bois ne pouvait se faire avec précision.

En 1814, M. Cochot, dont le nom est resté attaché aux progrès qu'a faits l'industrie dont nous nous occupons, prit un brevet pour une *machine propre à scier en feuilles les bois d'acajou et autres*. Il se proposait par l'emploi d'une lame mince et de châssis à couteaux pour maintenir la scie dans une même direction, de diminuer le déchet occasionné par la sciure, déchet ayant une grande importance au point de vue pécuniaire sur la valeur des bois à débiter. Une addition originale complétait l'invention ; elle consistait dans l'emploi de deux brosses mises en mouvement à chaque course du châssis et destinées à enlever la sciure restée dans les dents de la scie.

Le bâti de la machine était en bois et portait à l'une de ses extrémités un arbre horizontal dont les manivelles se tournaient à la main. Cet arbre était muni d'une roue dentée engrenant avec un pignon porté par un second arbre horizontal faisant suite au premier, mais coudé pour recevoir la tête d'une bielle qui commandait le châssis de la scie, nécessairement horizontal. L'arbre coudé portait un volant en plomb à l'une de ses extrémités.

Le mouvement d'avancement du bois était vertical, et on l'obtenait à l'aide d'une roue à rochet dont l'arbre portait un pignon commandant la crémaillère fixée sur le châssis vertical destiné à porter la bille de bois à débiter. La roue à rochet était mise en mouvement à l'aide de deux leviers coudés qui la faisaient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

alternativement avancer d'une ou plusieurs dents ; ces leviers étaient eux-mêmes reliés au mouvement du châssis de la scie par l'intermédiaire d'un levier coudé et d'un arbre.

Le mouvement latéral du bois permettant de donner la même épaisseur ou des épaisseurs différentes à chaque feuille, s'obtenait à l'aide d'une vis de pression qui poussait latéralement la partie supérieure du bâti horizontal tout entier ; en sorte que toute la machine, sauf la partie inférieure du bâti, participait à ce mouvement. La vis de pression portait de plus une aiguille indiquant les nombres de tours correspondant à des épaisseurs déterminées.

Le châssis vertical sur lequel on fixait la bille à débiter portait des couteaux destinés à écarter les feuilles de la bille au fur et à mesure de l'avancement du bois.

Enfin, le châssis de la scie était monté sur galets glissant dans des rainures pratiquées dans le bâti.

On voit donc que, par cette disposition de la machine, tous les organes qui la constituent doivent être déplacés pour obtenir l'épaisseur à donner aux feuilles d'acajou. Il en résulte un grand inconvénient, consistant en ce que l'effort de traction ne passe pas par le milieu de l'axe du châssis de la scie.

Cette machine est cependant remarquable par la suppression du balancier pour la commande du châssis. Nous verrons bientôt cette disposition adoptée pour toutes les scieries, quelle que soit la nature du bois à débiter.

En 1816, MM. Brunet et Cochot prirent un brevet pour l'établissement d'une scie circulaire présentant quelques avantages sur les scies du même genre précédemment construites. Ainsi, la scie était guidée de façon à ce qu'elle ne déviât pas de son plan, et le chariot était vertical. Les mouvements dans le plan vertical et les mouvements latéraux étaient partagés entre la scie et le chariot ; on pouvait scier dans des plans obliques et déverser le chariot à l'aide de vis de rappel.

Une roue calée sur l'arbre moteur, mis en mouvement à l'aide d'un manége, était reliée par une chaîne à la Vaucanson à une roue horizontale dentée, placée à la partie supérieure de la machine. Cette roue dentée communiquait le mouvement, par l'intermédiaire d'un pignon, à l'arbre de la scie. Cette machine était assez bien entendue, vu l'époque à laquelle elle a été construite.

A ce brevet était jointe une addition pour la fabrication des scies circulaires de grande dimension. On augmentait le diamètre de la scie à l'aide de secteurs, comme dans le brevet pris par le sieur Albert.

Les grandes scies circulaires ont été abandonnées parce qu'elles donnent lieu à une notable augmentation des prix de revient et du déchet.

Parmi les scies à balancier, nous citerons celles de M. Philippe et de M. Cochot.

Dans la première, le balancier et le bâti étaient complétement en bois; le déplacement latéral de la pièce de bois s'obtenait à l'aide d'un cabriolet (on nomme ainsi un appareil qui permet de déplacer le bois transversalement ; ce déplacement se fait toujours à la main). Le bois en grume qu'il fallait scier était monté sur un chariot mis en mouvement mécaniquement pendant le travail et que l'on ramenait à la main lorsqu'il était à bout de course. Le chariot se déplaçait de 3 à 9 millimètres par chaque trait de scie, lorsque le bois travaillé était du sapin ; le nombre de tours de l'arbre moteur était de 120 par minute, la course du châssis porte-scie de 72 centimètres et la vitesse de $2^{m},86$. La force employée était de 1 cheval-vapeur, 5.

La scie à balancier construite par M. Cochot était également en bois. La disposition la plus remarquable dans cette scie consistait dans l'emploi de chaînes s'enroulant sur des têtes de vis, au nombre de quatre, et permettant de rendre toutes les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parties du cabriolet solidaires dans leur mouvement transversal. Le bois glissait sur des rouleaux fixés transversalement sur le bâti, tandis qu'il adhérait par sa surface latérale à un cadre vertical formant chariot. Le mouvement alternatif rectiligne de ce dernier était obtenu à l'aide d'une crémaillère commandée par un pignon monté sur le même arbre qu'une roue à rochets commandée par un encliquetage et un levier. Celui-ci, mis en mouvement par une tringle fixée au balancier, faisait avancer le chariot à chaque course ascendante du balancier, en sorte que le sciage avait lieu lorsque la pièce de bois était en repos.

Cette dernière disposition exige que la scie soit inclinée sur la verticale, lorsqu'elle mord, d'une quantité égale au rapport de l'avancement du bois à l'avancement de l'outil, ce qui a lieu du reste dans le travail à la main. Dans le cas où la scie mord lorsque le bois avance, elle doit être verticale à quelques millimètres près, pour que la scie ne rencontre pas le bois en remontant.

La première combinaison est la meilleure au point de vue théorique, car le chariot peut alors avancer sans rencontrer de résistance ; la pièce de bois étant en outre plus stable et moins vibrante pendant le travail de la scie, on obtient des surfaces plus nettes avec moins de voie et moins de frottement. Les scies à placage présentent généralement l'application de cette combinaison, que la régularité de leur travail et le prix élevé des bois employés rendent nécessaire. Mais il n'en est pas ainsi des scies à mouvement alternatif, destinées au travail des bois ordinaires. La combinaison que nous venons d'indiquer présente en effet un inconvénient pratique que ne compensent plus, dans ce cas, les avantages qu'elle offre. Cet inconvénient consiste en ce que l'on ne peut plus faire varier l'avancement de la scie sans faire varier son inclinaison ; de là l'application de la seconde combinaison aux scies destinées aux bois ordinaires.

La scie dont nous venons de nous occuper fut construite vers 1835.

Mais les scies à balancier, présentant l'inconvénient de donner des secousses nombreuses et tenant beaucoup de place, ne tardèrent pas à être abandonnées, et on leur substitua des scies à directrices dont le châssis était mis en mouvement par des bielles reliées à l'arbre moteur. Enfin, on substitua aux bâtis en bois des bâtis en fonte.

Parmi les scies, nous citerons celles de MM. Halette et Philippe. Le bâti de la scie de M. Halette se compose de deux montants verticaux dans lesquels glisse le châssis porte-scies. Une disposition particulière permet de tendre les lames à l'aide de leviers à l'extrémité desquels sont placés des poids. Le châssis reçoit son mouvement par sa partie inférieure, à laquelle est adaptée une bielle à fourche. La tête de cette bielle s'ajuste sur un arbre coudé horizontal portant une manivelle et un volant à l'une de ses extrémités et deux poulies, dont l'une folle, à l'autre extrémité. Ces poulies sont destinées à recevoir la courroie de commande qui s'enroule sur une poulie calée sur l'arbre moteur, placé vers le milieu de la hauteur des montants. Ceux-ci portent à leur partie supérieure un treuil qui sert à placer le bois en grume sur le chariot qui porte deux crémaillères.

L'avancement du bois se fait pendant que la scie remonte, et celle-ci peut donner 60 à 80 coups par minute avec 12 lames ; sa manœuvre nécessite une machine de 8 chevaux.

La scie à mouvement alternatif de M. Philippe est aussi une scie à directrices. Le bâti est en fonte et d'une forme élégante. L'arbre moteur est placé à la partie supérieure de la machine, et la bielle vient attaquer un arbre horizontal qui forme, avec deux tiges oscillantes fixées au châssis de la scie, un parallélogramme de Watt. Le bois est placé sur un chariot muni d'un cabriolet.

La position qu'occupe l'arbre moteur, à la partie supérieure ou inférieure de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la machine, n'a pas d'importance au point de vue théorique. Elle ne peut dépendre que de l'emplacement dont on dispose.

Cependant la même raison qui fit abandonner l'usage du balancier (nécessité de disposer d'un grand espace), fit préférer parmi les machines à directrices celles dont l'arbre moteur est placé à la partie inférieure. C'est la disposition admise généralement aujourd'hui, l'arbre moteur commandant deux bielles qui viennent attaquer de chaque côté du châssis les boutons-manivelles de deux volants souvent disposés de façon à équilibrer le poids du châssis.

En même temps que les scies alternatives atteignaient leur plus grand développement, les constructeurs s'occupaient de l'établissement de scies locomobiles destinées à fonctionner en forêt. Parmi celles-ci, nous citerons une scie locomobile de M. Cochot, qui, dès le début, remplit les conditions auxquelles doit satisfaire une scie de ce genre. Ces conditions sont :

1° Possibilité de déplacer fréquemment la scie;

2° Stabilité suffisante pour que la production soit la même que si la scierie était fixe.

La première de ces conditions implique comme conséquence :

Une installation facile, un poids faible, montage et démontage pouvant s'opérer sans difficulté, et par conséquent une grande simplicité.

La seconde condition implique la nécessité de placer l'arbre à la partie supérieure, puisque la machine doit reposer solidement sur le sol sans aucune fondation.

Emploi du fer et de la fonte dans la construction tout entière, afin d'obtenir la plus grande légèreté en même temps que la plus grande résistance.

La machine de M. Cochot satisfaisait autant que possible à ces diverses conditions. Le bâti était formé de deux montants verticaux en forme de trapèzes, entretoisés en plusieurs points de façon à présenter une grande solidité.

Le chariot destiné à recevoir le bois en grume avait 14 mètres de longueur et le châssis pouvait porter 12 lames. Ce dernier était guidé dans son mouvement par des anneaux glissant sur des tringles verticales; il était mis en mouvement à l'aide de deux bielles pendantes et d'un arbre coudé.

Le poids total du châssis et des bielles était de 260 kilogrammes.

Cette scierie pouvait débiter des pièces de 13 mètres de longueur et de $0^{m},50$ d'équarrissage. Le rayon des manivelles était de $0^{m},275$ et le nombre de tours de 110 par minute. La vitesse du châssis était donc de $\frac{0^{m},275 \times 2 \times 110 \times 2}{60''}$ = 2 mètres. L'avancement était de $1^{mm},5$ à $2^{mm},5$, suivant la dureté du bois et la puissance employée, qui était en moyenne de 4 chevaux.

Le chariot remplissait parfaitement les conditions auxquelles il est assujetti dans des machines de ce genre. Formé de longrines en tôle consolidées par des cornières, il était à la fois solide et léger. Le mouvement alternatif lui était donné à l'aide d'une crémaillère assemblée à la manière ordinaire. Le retour était rapide et obtenu mécaniquement.

Les avantages que présentaient les machines à raboter à cylindres amenèrent les constructeurs à employer ces derniers pour les scies ; d'où les scieries dites à cylindres, comportant deux cylindres fixes et deux cylindres cannelés. La disposition générale est restée à peu près la même depuis l'origine. Nous citerons comme l'une de celles qui soient le mieux construites, la scie à cylindres de M. Cochot. L'avancement du bois est variable à l'aide d'un changement d'engrenages. La scie est à une seule lame et on peut la régler facilement. L'épaisseur du trait varie avec la position des cylindres cannelés. L'avancement de la scie est de 18 à 20 millimètres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La lame est guidée dans le voisinage de la pièce qu'on débite, ce qui permet de lui imprimer une plus grande vitesse et de lui donner une longue course sans qu'elle fouette, ainsi que cela n'a lieu que trop souvent. Les cylindres cannelés qui déterminent l'avancement du bois sont fixés sur des poupées mobiles qui, mues à la main, servent à déterminer l'épaisseur du trait de scie.

Malgré sa complication, cette scie est en progrès sur celles qui ont été précédemment construites.

Les inconvénients que présente la scie circulaire engagèrent les constructeurs, depuis longtemps déjà, à obtenir le sciage continu à l'aide d'une scie disposée d'une manière différente. C'est en 1811 ou 1812 qu'il fut pour la première fois question de la scie à lame sans fin, dite scie à ruban.

Mais, jusqu'en 1855, les difficultés pratiques que rencontrèrent les constructeurs dans l'exécution de ce genre de scie, s'opposèrent à ce qu'elle devînt industrielle. Ce n'est qu'à partir de cette époque que les scies à lame sans fin prirent l'énorme extension qu'elles ont aujourd'hui, et à la tête des habiles industriels qui peuvent revendiquer cette espèce de création, nous placerons M. Périn.

En 1855 les machines à scier à mouvement alternatif sont arrivées à un grand degré de perfectionnement, et ce qu'on a fait depuis cette époque, jusqu'en 1868, ne présente aucune innovation importante. Les détails de construction sont seulement plus soignés, les dispositions et l'agencement plus avantageux dans quelques cas, mais les résultats obtenus sont les mêmes.

Au lieu d'équilibrer, comme on l'a vu, le poids du châssis de la scie à l'aide d'un contre-poids fixé au volant de l'arbre moteur, on cherche à obtenir cet équilibrage par l'intermédiaire d'un piston qui comprime de l'air dans un cylindre quand celui-ci est placé au-dessous du châssis, tandis que l'air se détend au contraire quand le cylindre est placé au-dessus. Ce moyen n'a guère été employé que pour des courses de $0^m,30$ à $0^m,35$.

Les scies circulaires, par la simplicité de leur agencement, n'étaient susceptibles d'aucun changement important. Aussi les retrouve-t-on, pendant la période qui précède l'Exposition de 1867, telles qu'elles étaient dès leur apparition.

Les scies à *lame sans fin* dont la construction réellement industrielle remonte à 1855, ont pris jusqu'en 1867 un développement considérable. Appliquées d'abord au chantournement des bois, elles sont devenues d'un usage général, aussi bien pour le sciage des bois en grume que pour le débitage des madriers et autres pièces de moindres dimensions. Ces scieries rendent des services si universels qu'elles sont devenues l'élément indispensable d'une production rapide et à bon marché. C'est de leur emploi que datent les développements considérables qu'ont pris l'ébénisterie et même la marqueterie. Leur production est moins rapide que celle des scies circulaires, mais elles possèdent par contre tous les avantages de précision et de fini qu'on trouve dans les scies alternatives les mieux agencées. Leur travail utile est en outre plus grand que dans ces dernières, parce que les fibres sont tranchées sans qu'elles réagissent d'une manière sensible sur la lame.

D'après l'historique qui précède, on peut classer les scies de la manière suivante :

1° Scies droites à mouvement alternatif.
- A. Scies verticales avec ou sans balancier, à une ou plusieurs lames.....
  - *a.* — Scies à chariot, avec ou sans cabriolet (débit de gros bois en grume, de longueur limitée).
  - *b.* — Scies à cylindres (pour refendre le produit des précédentes et débiter les bois équarris de longueur illimitée).
  - *c.* — Scies locomobiles.
- B. Scies horizontales... Scies pour placages.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Scies à mouvement continu.
- *a.* — Scies circulaires (équarrissage des planches, sciage des lates, des chevrons).
- *b.* — Scies de Brumel (la lame est de grande dimension, et elle donne lieu à une grande augmentation du prix de revient et du déchet).
- *c.* — Scies circulaires de Boileau.
- *d.* — Scies à lame sans fin.

Nous ne suivrons pas cette classification dans notre examen des machines exposées, et nous ne la donnons ici que comme un résumé succinct de l'étude historique qui précède. Elle indique, en outre, l'état de l'industrie au moment où s'ouvre l'Exposition.

Nous commencerons notre compte rendu sur les scies exposées, par une scie à cylindres de M. Sautreuil, de Fécamp.

Le bâti en fonte de la machine est surmonté de deux montants verticaux. A sa partie inférieure, le bâti porte un arbre horizontal sur lequel est calée la poulie de commande. Le même arbre porte en son milieu un cylindre cannelé, et à l'une de ses extrémités une roue engrenant avec une vis sans fin qui commande à son tour une seconde roue portée par un second arbre horizontal, sur lequel est placé un autre cylindre cannelé semblable au premier. Ces deux cylindres portent la pièce de bois. Les cylindres de pression portent des romaines qui se relèvent ou s'abaissent à l'aide de cordes passant sur des poulies placées à la partie supérieure du bâti. Cette machine est bien construite et rappelle dans ses dispositions la machine du même genre exposée par M. Sautreuil en 1855.

L'innovation qu'elle présente mérite de fixer l'attention. On peut, en effet, à l'aide de cette scie à cylindres débiter les pièces de bois courbes. Le résultat est obtenu à l'aide de chariots montés sur galets, placés aux extrémités de la pièce de bois qu'ils supportent et maintiennent par des griffes mobiles autour d'un axe horizontal. Ces chariots permettent d'élever ou d'abaisser les extrémités de la pièce de bois à l'aide d'une vis sans fin commandant une crémaillère circulaire.

L'une des scies à mouvement alternatif et à chariot les mieux construites qui aient été exposées, est sans contredit la scie de M. Normand, du Havre. Les principales dispositions de cette scie avaient déjà été présentées à l'Exposition de 1855.

Cette scierie se compose d'un bâti vertical formé de deux fermes ; à la partie supérieure de ce bâti, est placé un arbre horizontal sur lequel sont calées deux poulies, dont l'une est folle, destinées à recevoir la courroie motrice. Le même arbre porte à ses extrémités deux volants munis de boutons manivelles qui reçoivent les têtes de deux bielles qui viennent attaquer l'extrémité inférieure du châssis de la scie. Cette extrémité est fixée à un balancier oscillant autour d'un point fixe appartenant au bâti ; il en est de même de l'autre extrémité ; le trait de scie est donc nécessairement rectiligne. L'arbre moteur porte un excentrique dont la tige peut glisser dans une rainure pratiquée sur un levier muni d'un encliquetage, lequel agit sur une roue à rochet. Celle-ci détermine l'avancement du chariot. Mais ce qui constitue principalement les titres de cette machine à l'attention est la disposition adoptée par le constructeur pour le chariot. Cette partie importante de la machine est très-étroite et munie de griffes pour fixer le bois à travailler ; elle glisse sur une pièce fixe en fonte, et reçoit son mouvement à l'aide d'une crémaillère et d'un pignon. La disposition adoptée permet d'assurer au chariot une rectitude de mouvement presque mathématique, en même temps qu'elle réduit au minimum la force motrice à employer.

Nous nous étonnerions de ne pas voir cette forme du chariot devenir générale.

Près de la scie exposée par M. Normand, se trouve une scie à lame sans fin destinée au débitage des bois en grume et construite par M. Perin.

Elle se compose de deux parties : 1° d'un bâti vertical en fonte sur lequel sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

placés les arbres horizontaux et parallèles sur lesquels sont calés les tambours porte-scie ; 2° d'un chariot muni d'un cabriolet. (*Pl.* 206, *fig.* 1 et 2.)

Les poulies de commande PP sont calées sur l'arbre du tambour inférieur porte-scie. Le même arbre porte un cône *c* qui communique le mouvement par l'intermédiaire d'une courroie à brins croisés à un second cône *c'*, dont l'arbre est fileté à l'une de ses extrémités. La vis sans fin V engrène avec un pignon *p* dont l'arbre porte un second pignon *p'*, qui engrène avec la roue P'. Celle-ci donne le mouvement d'avancement au chariot vers la scie, par l'intermédiaire de sa crémaillère *i* fixée à la partie inférieure du chariot.

Le retour du chariot, c'est-à-dire son éloignement du plan de la scie, a lieu par un mouvement rapide. Ce dernier mouvement s'obtient en faisant passer la courroie qui vient de la commande, de la poulie folle P'_1 sur la poulie P_1'', dont l'arbre porte une roue d'angle engrenant avec une seconde roue d'angle *r*. Celle-ci est portée par un arbre à l'extrémité duquel est placé un pignon qui engrène avec un autre pignon calé sur l'arbre qui porte déjà les pignons *p* et *p'*, et le mouvement se transmet à la crémaillère avec son changement de vitesse par les mêmes organes que précédemment.

Lorsque le bois est placé sur le chariot, des manœuvres auxiliaires d'aller et de retour sont nécessaires pour approcher ou éloigner le bois de la lame ; ces manœuvres doivent nécessairement être opérées par un mouvement rapide. Les organes qui viennent d'être décrits et à l'aide desquels s'opère le retour du chariot lorsqu'un trait de scie est terminé, permettent la manœuvre auxiliaire d'avancement vers la lame. Quant à la manœuvre d'éloignement, elle a lieu en faisant passer la courroie de la poulie folle sur la poulie P'_1 qui commande la roue d'angle *r'*, tandis que la roue *r'* devient folle sur son axe, les autres organes ayant le même jeu que précédemment.

Le chariot est muni d'un cabriolet dont le mouvement latéral, commandé par l'épaisseur des madriers à scier, est obtenu à l'aide de deux vis placées chacune aux extrémités du chariot. Ces vis sont fixes et tournent dans des écrous fixés sur le cabriolet. Sur l'une de ces vis est placé un pignon commandant une roue dentée dont l'arbre porte un pignon. Une chaîne de Gall, qui s'enroule sur ce dernier, s'enroule en même temps sur un pignon semblable placé sur la seconde vis, à l'autre extrémité du chariot.

La tension de la lame de scie est obtenue par l'élévation ou l'abaissement du tambour porte-scie supérieur. Ce mouvement se transmet du volant à main *m* aux roues R et R', par l'intermédiaire de roues d'angle calées sur les axes du volant et de la roue R'. L'arbre de la roue R' est fileté et fait mouvoir dans des coulisses le plateau porte-paliers de l'arbre du tambour supérieur.

Cette scie est bien entendue, surtout en ce qui concerne la facilité avec laquelle on peut se servir des organes importants. Ainsi le volant *m*, pour la tension de la lame, les manettes *m'*, *m''*, *m'''*, pour les manœuvres auxiliaires et la mise en marche, sont placés sous la main.

Les dimensions des tambours, dont le diamètre est de $1^m,25$, sont bien combinées en vue du bon et long service que peut rendre une lame de scie, et en rapport avec les dimensions de cette dernière, qui a $0^m,008$ de largeur sur $0^m,0012$ d'épaisseur.

L'expérience a démontré que la courroie ne gardait jamais, sur les cônes *cc*, la position qui convenait à la vitesse dont le bois doit avancer suivant sa nature. On les a remplacés par des cônes étagés donnant cinq vitesses différentes.

On a de même remplacé la vis sans fin par une série de roues dentées, parce qu'elle s'usait promptement. Nous pensons que cette usure provient de ce que les dents de la roue engrenant avec la vis n'étaient pas taillées d'une manière exacte,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi que cela a lieu dans beaucoup d'ateliers. Il n'en serait pas de même si l'on se servait de gabarits parfaitement tracés, ainsi que nous l'indiquons dans notre ouvrage, *Théorie et pratique de l'art de l'ingénieur*.

L'usage des scies à mouvement continu donnant lieu à une grande rapidité de travail, on a dû penser à l'augmenter encore par la continuité de l'amenage; de là, les scies à cylindres.

Mais il faut alors que le bois soit terminé par des surfaces latérales planes, sans quoi les épaisseurs des madriers ne seraient pas uniformes. Il était donc utile d'étendre les avantages de la scie à mouvement continu et de l'amenage continu aux pièces n'ayant pas encore été débitées. M. Perin y est arrivé en remplaçant les cylindres par deux chaînes sans fin composées de plaques présentant des rainures analogues aux cannelures des cylindres. Ces plaques (*pl.* 207, *fig.* 1 et 2) reçoivent leur mouvement à l'aide de prismes rectangulaires commandés par la roue R, les roues d'angle *rr*, les poulies *pp* et p_1. Celles-ci sont directement reliées par des courroies aux poulies de commande placées sur l'arbre du tambour porte-scie inférieur. L'examen de ces figures suffit pour se rendre compte de l'agencement de cette scie, qui est destinée à débiter des bois ayant jusqu'à $0^m,50$ de hauteur.

Lorsque l'on emploie la scie à lame sans fin pour refendre ou pour découper, le mouvement d'amenage se fait à la main. Cet amenage présente de grands avantages pour les pièces de petite dimension ; mais, s'il est suffisamment précis pour les traits courbes, il n'en est pas de même pour les traits droits qui doivent être faits avec une grande précision. C'est pour parer à cet inconvénient que M. Perin a construit la scie représentée par les figures 3 et 4 de la planche 207.

La table de cette scie peut s'incliner autour d'un axe horizontal, comme dans toutes les scies à lame sans fin où l'amenage se fait à la main ; cette inclinaison permet de scier le bois suivant des plans plus ou moins inclinés sur le plan vertical contenant la lame de la scie. Sur la table est établi un parallélogramme formé de tiges *bb* articulées avec une troisième *c*, qui décrit nécessairement une ligne droite lorsqu'on imprime un mouvement au parallélogramme. C'est contre cette tige *c* qu'est placé le bois à refendre. Pour le maintenir constamment appliqué contre elle, un levier *b*, portant un rouleau à l'une de ses extrémités et sur lequel agit un poids P, par l'intermédiaire d'une corde fixée à l'autre extrémité, presse sur le bois.

Le rouleau dont est muni le levier *b* peut s'écarter ou se rapprocher du parallélogramme suivant les épaisseurs du bois à travailler ; il suffit, pour cela, de desserrer l'écrou *e* et de transporter le levier en b, b', b''. Les positions qu'il occupe alors sont indiquées sur la figure 4 de la planche 207.

On donne au bois le mouvement latéral nécessaire pour recommencer un trait de scie, suivant la distance qui doit séparer deux traits, à l'aide de la manette *m* qui permet d'avancer ou de reculer le plateau *a*.

Il suffit, lorsqu'on veut scier des bois courbes, d'enlever le parallélogramme et le levier *b* en desserrant les écrous *e'e'* et *e*.

Nous terminerons l'examen des machines exposées par M. Perin par quelques mots sur une espèce de banc de menuisier universel placé à la classe 58.

Cette machine porte, sur un même plateau, une scie à lame sans fin, une scie à découper à mouvement alternatif, mise en mouvement par une pédale et une mortaiseuse.

Nous nous sommes assez étendus dans la première partie de notre travail sur ce genre de machines, pour n'avoir pas à en retracer ici les inconvénients. La machine dont nous nous occupons ne peut remplir aucun but industriel. Elle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne saurait convenir qu'à un amateur, usage auquel son constructeur paraît l'avoir destinée rien que par le luxe de sa construction.

Le jugement qu'on peut porter sur les machines à scier de M. Perin est analogue à celui auquel a donné lieu, dans la première partie de notre travail, l'examen des machines exposées par ce constructeur :

Construction soignée ; formes heureuses adaptées aux usages pour lesquels la machine est construite; enfin, innovations simplement obtenues et suggérées par une connaissance pratique des besoins de l'industrie qui a le travail du bois pour objet.

Nous avons remarqué, dans la même classe, deux scies : l'une circulaire et l'autre à mouvement alternatif, construites par M. Gérard, dont la spécialité paraît être la construction des machines destinées au travail du bois à la main; nous en avons déjà parlé dans la première partie de notre étude.

La scie à mouvement alternatif de M. Gérard est une scie à découper et à pédale (*fig.* 2, *pl.* 204). La lame de scie est fixée par ses extrémités à deux balanciers en bois *bb*, dont les centres d'oscillation *cc* sont placés en leur milieu. Une corde, passant sur les deux autres extrémités de ces balanciers, est fixée à une petite bielle en bois reliée à un arbre coudé portant une poulie et un volant. Cette poulie reçoit son mouvement du volant V, dont l'arbre porte une manivelle mise en mouvement par la pédale P.

Cette petite scie, construite pour la marqueterie et la gaînerie, remplit assez bien le but auquel elle est destinée. La lame de scie reste verticale, ce qui permet un travail régulier pour une vitesse de 200 coups à la minute.

La scie circulaire appelle l'attention par la disposition de sa table (*fig.* 1, *pl.* 204), qui, s'inclinant en tous sens, permet de faire les onglets, pans coupés, feuillures et coupes en tous sens. Le disque en bois B, placé sur l'arbre que commande la pédale, transmet par une courroie le mouvement à une poulie d'un petit diamètre calée sur l'arbre de la scie.

Nous terminerons cet examen des scies faisant partie de l'Exposition française, par les scies locomobiles destinées à fonctionner en forêt et pouvant se transporter.

La scie de ce genre exposée par M. Cart est remarquable par ses dimensions et son agencement. Cette machine porte deux lames sans fin montées sur tambours. L'avancement se fait à l'aide d'un chariot, ce qui permet de travailler les bois en grume, tandis que les scies à cylindres ne peuvent débiter que du bois préalablement raboté.

La scierie se compose d'un bâti horizontal monté sur deux trains, un à chaque extrémité. Sur ce bâti sont disposés des rouleaux sur lesquels glisse le chariot à double crémaillère. En son milieu, le bâti présente un renflement sur lequel sont fixés deux montants verticaux en fers I, réunis à leur partie supérieure par une traverse en bois. Les tambours des deux scies à lame sans fin sont fixés sur les montants, entre les plates-bandes desquels glissent les paliers des arbres portant les tambours. Ce mouvement vertical des tambours s'obtient à l'aide de vis fixes dont les plateaux porte-paliers sont les écrous, et de roues d'angle dont la dernière est calée sur l'arbre d'un volant manivelle placé à la portée de la main. C'est de cette manière qu'on donne aux lames la tension qui leur est nécessaire. Au-dessus des traverses du bâti formé par les deux montants verticaux, sont placés les deux paliers des deux arbres qui portent les tambours supérieurs et inférieurs de chacune des deux lames. Ces paliers, qui sont taraudés, sont traversés par un arbre horizontal fileté, dont l'extrémité porte une roue d'angle qui engrène avec une deuxième roue d'angle portée par un arbre vertical mis en relation, par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux roues de même espèce, avec un arbre horizontal ; celui-ci étant mis en mouvement, permet le rapprochement ou l'éloignement simultanés des deux lames de scie.

Un débrayage permet d'opérer à la main les manœuvres auxiliaires dont nous avons parlé à propos de la scie de M. Perin.

Cette scie, bien construite dans ses détails, présente cependant un défaut capital qui rendra sa production chère et presque nulle.

Si, en effet, nous appelons ρ le rayon du tambour, μ le moment fléchissant, a la plus grande dimension de la section transversale de la scie, b la plus petite de ces dimensions, nous aurons (la force produisant la flexion étant transversale et parallèle à la dimension b et transversale)

$$\mu = \frac{RI}{V} = \frac{\frac{R\,ab^3}{12}}{\frac{b}{2}} = \frac{R\,ab^2}{6};$$

d'un autre côté les relations entre la déformation de la pièce et les forces qui produisent cette déformation donnent :

$$\rho = \frac{EI}{\mu};$$

d'où

$$\mu = \frac{EI}{\rho},$$

ce qui indique que μ est constant dans toute l'étendue de la portion courbée de la lame, puisque le rayon de courbure ρ est lui-même constant. En remplaçant μ par sa valeur dans la dernière équation, il vient :

$$\frac{EI}{\rho} = \frac{R\,ab^2}{6} = \frac{E\,ab^3}{12\,\rho};$$

d'où, en divisant par $\frac{ab^2}{6}$:

$$R = \frac{Eb}{2\rho} \quad \text{et} \quad \rho = \frac{Eb}{2R}.$$

Si nous prenons pour E et pour R les valeurs limites d'élasticité et de charge, nous aurons pour ρ la valeur limite inférieure qu'il ne faut jamais atteindre.

Faisant donc pour l'acier trempé fin :

$$E = 3 \times 10^{10}$$
$$R = 45 \times 10^{6},$$

il vient :

$$\rho = \frac{3 \times 10^{10} \times b}{2 \times 45 \times 10^{6}} = 333b.$$

On donne ordinairement $0^m,0012$ d'épaisseur à la scie ; c'est une valeur qu'on ne saurait rendre moindre pour le sciage des bois en grume sans nuire au bon fonctionnement de la scie. La valeur minimum du rayon du tambour, valeur qu'il ne faut jamais atteindre, est donc :

$$\rho = 333 \times 0^m,0012 = 0^m,40.$$

Les tambours de la scie contruite par M. Cart n'ont que $0^m,80$ de diamètre.

La scie locomobile de MM. Varrall, Elwell et Poulot se recommande à l'examen des spécialistes par une construction soignée et un agencement plus simple que celui de la machine de M. Cart. La scierie est à lame sans fin et ne comporte qu'une seule lame ; elle repose comme la précédente sur deux trains.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les paliers des arbres des tambours sont fixés à la chaudière verticale, d'une puissance de six chevaux. L'une des roues d'arrière de la machine est commandée directement par la bielle, de sorte qu'on peut la transformer en locomotive routière pour le transport d'un lieu d'exploitation à un autre, ou en machine fixe pour le travail, en soulevant le train d'arrière à l'aide de madriers. La roue devenue volant-poulie communique par une courroie le mouvement au tambour inférieur de la scie.

Le chariot est muni d'un cabriolet, pour le déplacement latéral du bois.

Nous n'avons pas mesuré le diamètre des tambours porte-scie, mais il nous a semblé que MM. Varrall, Elwell et Poulot pourraient faire leur profit des observations relatives aux dimensions de ces tambours et que nous a suggérées l'examen de la scie de M. Cart.

Les deux scies que nous venons d'examiner méritent tous les éloges au point de vue de la construction proprement dite, sauf la réserve importante que nous avons faite. Il reste à voir si ces sortes de scieries sont aptes aux usages qu'on a en vue en les établissant. Tel n'est pas notre avis.

Le but qu'on se propose est, en effet, de débiter sur place des masses d'un transport difficile et coûteux. Or, les scies locomobiles à chariot ne peuvent débiter que des bois de 4 mètres de longueur au plus, tandis que les scies locomobiles à cylindres, dont l'action n'est pas limitée comme longueur, ne peuvent scier que des bois d'un hauteur plus petite que celle des bois travaillés par les scies à chariot. Ces machines ne peuvent donc opérer que sur des masses réduites.

Elles présentent en outre un autre inconvénient, c'est le manque de stabilité, qui diminue la production.

Nous n'avons pas remarqué dans la section anglaise de grandes scieries, probablement parce que la place a manqué. Nous avons donc cru devoir donner un spécimen des formes adoptées généralement par les Anglais pour cette sorte de machines.

Les figures 1 et 2 de la planche 94 représentent une scie à mouvement alternatif pour bois en grume; le châssis porte neuf lames. Cette scie est bien construite, et ses formes sont heureuses. Elle sort des ateliers de M. Samuel Worsam à Chelsea.

Nous mentionnerons encore, dans la section allemande, une scie à lame sans fin destinée à refendre les madriers, de MM. Gschwindt et Zimmermann, de Carlsruhe. La table de cette scie est mobile; sa construction est parfaitement entendue. Le contre-poids P (*fig.* 3 et 4, *pl.* 204), qui donne à la lame une tension pour ainsi dire élastique et en rapport avec la résistance variable du bois, nous paraît une heureuse addition, que nous avons du reste rencontrée dans d'autres machines.

Nous arrivons à l'emploi le plus remarquable des scies qu'on ait fait jusqu'à présent; nous voulons parler de la machine à faire les queues d'hironde inventée par un Américain, M. Armstrong, qu'il ne faut pas confondre avec le célèbre ingénieur anglais de ce nom.

Cette machine se compose d'un bâti en fonte muni de paliers supportant l'arbre moteur et les arbres des tambours ou disques, sur lesquels sont fixées les scies destinées à faire les mortaises. Les scies sont formées de lames rapportées, maintenues en place dans les rainures des tambours au moyen d'éclisses en fonte serrées par des vis de pression. Ces rainures étant heliçoïdales, les scies forment un pas de vis, comme l'indique la vue de face (*fig.* 1, *pl.* 199); leur profil (*fig.* 2, *pl.* 199) se compose de deux courbes : d'une spirale pour les trois quarts de la circonférence, et d'un quart de cercle. Le contour de la spirale est taillé comme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celui d'une scie ordinaire, tandis que la scie en quart de cercle se retourne en équerre munie de dents.

Le bâti porte en outre des guides servant à diriger une table mobile sur laquelle est placé le bois à travailler. Cette table porte sous sa face inférieure une portion d'écrou E (*fig.* 3, *pl.* 199), qui peut être embrayée ou désembrayée à volonté avec une vis (*fig.* 1, *même planche*) au moyen d'un levier dont le point fixe appartient à la partie inférieure de la table et dont la poignée est en P. La table mobile peut prendre deux mouvements : un mouvement de transport ou d'entraînement dans le sens longitudinal obtenu à l'aide de cette vis et un second mouvement transversal imprimé à la partie supérieure de ladite table, dont la partie inférieure reste fixe ; c'est à l'aide de ce dernier changement de position que s'effectue l'embrayage ou le désembrayage de l'écrou avec la vis indiquée.

Le mouvement de l'arbre moteur est transmis à cette vis au moyen d'un pignon calé à l'une de ses extrémités et engrenant avec une roue intermédiaire (*fig.* 2, *pl.* 199). Pour les disques, la transmission de mouvement s'opère à l'aide de la roue d'angle A calée sur l'arbre moteur et faisant tourner la roue C qui fait corps avec le disque D, par l'intermédiaire de la roue B ; le disque D transmet lui-même son mouvement au disque D′ au moyen des roues F, F′ qui font corps avec ces disques.

Les axes m, m' des disques D et D′ appartiennent au même arbre que les axes principaux M M′ et font avec ces derniers un certain angle a.

Le pas de l'hélice formée par les scies est le même que le pas de la vis V, et la vitesse d'entraînement est égale à la vitesse à la circonférence des disques. S et S′ (*fig.* 1, *pl.* 199), sont deux secteurs ou quarts de cercle dentés recevant le mouvement de deux pignons K et K′ calés sur un arbre G qui se manœuvre à l'aide de la manivelle H. Une révolution de cette manivelle correspond à un quart de révolution des secteurs, et par suite des axes m et m' sur lesquelles ces secteurs sont calés en M et M′. On change par cette manœuvre l'inclinaison des disques pour passer du travail des mortaises à celui des tenons.

Travail des mortaises en queue d'hironde.

Dans tout assemblage à queue d'hironde, la profondeur de la mortaise et la longueur du tenon doivent être égales à l'épaisseur du bois à travailler, puisque ces bois sont assemblés à angle droit. Dans les cas où les épaisseurs des bois à assembler seraient inégales, la profondeur de la mortaise sera égale à l'épaisseur du bois portant les tenons, et la longueur de ces derniers sera égale à l'épaisseur du bois dans lequel les mortaises doivent être taillées. Le bois devra donc être placé sur la table mobile, de façon à ce que les conditions de l'assemblage qui viennent d'être exposées soient remplies. Pour cela, on a disposé, sur la partie gauche de la table mobile (*pl.* 199, *fig.* 3), une pièce de fonte posée à plat et dressée sur l'un de ses champs. C'est sur cette surface dressée que l'on applique le champ de la planche. La pièce de fonte porte une échelle divisée en millimètres et dont le zéro est à une distance du bord a égale à la distance du bord b à la scie s, lorsqu'elle présente son plus grand rayon, c'est-à-dire lorsque la portion de la scie recourbée est en prise. On peut à l'aide de cette disposition donner exactement aux mortaises la profondeur voulue.

La planche étant placée sur la table mobile, les secteurs doivent être ramenés par les pignons K et K′ au point le plus bas de leur course ; les axes m m', et par conséquent les angles a, seront alors dans un plan horizontal. (Voir la *fig.* 4, *pl.* 199.) Les disques F, F′, perpendiculaires aux axes m, m', seront chacun dans un plan vertical, et leurs plans formeront avec l'arête rs de la planche un angle égal à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

$90° - a$. La table mobile étant animée du même mouvement que les disques, la scie pénétrera dans le bois en un point de la spirale et s'engagera de plus en plus jusqu'à ce que la scie en quart de cercle morde à son tour. En ce moment, la paroi latérale de la mortaise sera taillée, et les équerres qui forment avec les scies un angle égal à $90°-a$ viendront tailler le fond parallèlement à *rs*.

Le disque F est fixe, tandis que le disque F' est mobile et peut glisser dans une gorge circulaire formée par un rebord venu de fonte avec le disque D'; on peut donc, tout l'ensemble du système restant fixe, y compris l'engrenage F' qui reste toujours en prise avec F, faire glisser le disque D' en avant ou en arrière, de manière à avancer ou à retarder l'action de la scie montée sur ce disque, en sorte que la mortaise sera plus petite ou plus grande, puisque la table mobile n'obéit qu'à la vis V. Nous verrons plus loin quelles sont les limites des épaisseurs qu'on peut donner aux mortaises comme aux tenons.

L'engrenage intérieur porte un cercle composé de 90 trous numérotés. Une cheville à poignée U (*fig.* 5, *pl.* 199), fixée sur le disque D', permet, en la retirant ou en l'enfonçant dans l'un de ces trous, de rendre le disque et l'engrenage indépendants ou solidaires.

La somme du plein et du vide est toujours constante; elle est égale au pas de la vis (25 mm).

On établit pratiquement, d'après les épaisseurs maxima et minima qu'on peut obtenir, les épaisseurs et les numéros des trous qui conviennent à la fois aux mortaises et aux tenons.

On n'a plus qu'à dresser, à l'aide de ces numéros, un tableau sur lequel il n'y a qu'à jeter un coup d'œil pour connaître immédiatement le numéro qui convient à chaque nouvelle épaisseur des bois à travailler.

Travail des tenons.

Le bois est placé sur la table mobile, comme dans le cas où l'on veut faire des mortaises, de manière à obtenir la profondeur voulue. On change les quatre scies-équerres qui composent le quart de cercle. On amène ensuite les secteurs S et S' au point le plus élevé de leur course. La position qu'ils occupent alors correspond à une position verticale de *m* et de *m'*, qui ont fait un quart de révolution, en sorte que M*m* et M'*m'* sont dans un plan vertical. Les axes *m* et *m'* faisant alors un angle égal à *a* avec l'axe horizontal MM', les disques DD' font avec un plan horizontal un angle égal à $90°-a$ et viennent scier le bois sous cet angle, tout en pénétrant perpendiculairement à l'arête du bois. On obtient donc un tenon qui a exactement la forme de la mortaise; les équerres sont, dans ce cas, retournés à 90° pour tailler les fonds.

Épaisseurs maxima et minima des tenons et mortaises.

Dans l'assemblage à queue d'hironde, les vides peuvent être plus petits que les pleins, ou leur être égaux; ils ne peuvent jamais être plus grands. Pour varier les épaisseurs des vides autant qu'on peut le faire, on a donné 6mm1/4 de saillie aux équerres, de sorte que si l'on veut avoir des queues d'hironde égales aux pleins, le fond se trouve fini par les scies en raison de leur saillie. Si l'on diminue les demensions des mortaises, résultat qu'on obtiendra en avançant le sciage de le scie, la largeur des fonds ne dépassera pas 6mm1/4.

Cette limite dépassée, les équerres laisseraient des traces de leur passage sur les parois de la mortaises.

On double ordinairement le nombre des queues d'hironde sur la même planche à l'aide de la disposition suivante.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La manivelle L (*pl.* 199, *fig.* 1) est calée sur un petit arbre dont l'une des extrémités est filetée. Celle-ci est engagée dans la portion d'écrou E, qui peut se mouvoir dans une glissière fixée sous la table mobile. Lorsque l'écrou est en prise avec la vis V, le chariot glisse et se déplace par suite du mouvement de la manivelle L. Le pas de la petite vis est le 1/10 de celui de la vis V, c'est-à-dire de 2m/m5. La manivelle L faisant cinq tours par exemple, le chariot ou l'écrou (suivant qu'on aura embrayé ou désembrayé) aura avancé ou reculé de 12m/m,5, et les traits de scie passeront à 12m/m,5 du point où ils passaient précédemment; on aura donc doublé le nombre des queues d'hironde.

La table peut se relever en tournant autour de la charnière N; la réglette O vient en O' et y est maintenue au moyen de la manivelle de pression T. Cette disposition permet de tailler les mortaises obliquement par rapport à la surface du bois et de faire *les assemblages à onglets* ou *les queues recouvertes*, assemblages employés pour les devants des tiroirs de meubles et dans beaucoup de travaux d'ébénisterie. Un troisième jeu de scies est nécessaire pour ce travail et suffit pour faire les mortaises et les tenons. Les secteurs sont placés entre les deux positions mentionnées précédemment, c'est-à-dire que *h* vient en *h'*.

Les pièces de bois à travailler sont fixées sur la table mobile à l'aide d'une traverse en fonte dressée sur sa face inférieure; cette traverse se lève ou s'abaisse au moyen d'une vis de pression placée à l'une de ses extrémités et d'un levier à écrou placé à l'autre extrémité. Ce perfectionnement ainsi que l'échelle divisée, permettant de donner exactement aux mortaises la profondeur voulue, sont de MM. Martin fils et Cie, cessionnaires pour la France du brevet de M. Armstrong et représentés à Paris par MM. Ball et Trèves, 127, boulevard de Magenta.

Les disques de la machine disposée pour recevoir l'action d'un moteur à vapeur peuvent faire deux cents tours à la minute, ce qui correspond à un avancement de la table de 25 mètres. On voit combien est grande la rapidité de la fabrication, surtout en ne faisant que les tenons ou les mortaises en même temps.

Nous le répétons, la machine de M. Armstrong est une des plus intéressantes applications des principes de la cinématique, et sa production la rend tout à fait industrielle.

Cet usage des scies pour les assemblages de précision nous paraît assez important pour que nous disions ici quelques mots d'une machine qui n'a pas été exposée, mais d'une construction toute récente et que nous avons examinée dans les ateliers de M. Gérard.

La machine dont nous allons entretenir nos lecteurs est destinée à faire les mortaises obliques des casiers porte-billets employés dans les bureaux de chemins de fer.

Elle porte deux outils : 1° une scie circulaire dont l'inclinaison peut varier et qui est destinée à faire le même travail qu'un rabot ; 2° une mèche tournant horizontalement, et dont le travail consiste à faire des mortaises.

Ce qui rend intéressant l'examen de cette machine et nous a décidés à en faire la description, c'est la disposition du porte-scie.

Le résultat à atteindre était de pouvoir creuser une rainure, par exemple, d'une largeur plus grande que l'épaisseur de la scie ; pour cela, il fallait faire travailler la scie dans des plans obliques, la monter de façon qu'elle pût prendre diverses inclinaisons tout en lui assurant pour chacune d'elles la stabilité nécessaire à son fonctionnement, stabilité que tend à compromettre la grande fatigue à laquelle est soumis l'outil.

Un noyau en bronze, composé de deux disques concentriques avec l'arbre D (*pl.* 205, *fig.* 5), sert à donner à la scie les inclinaisons voulues. Ces disques ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

été percés en leur centre, de manière à présenter constamment une surface convexe à l'arbre D. Rien ne s'oppose donc à leur inclinaison latérale.

Pour maintenir la scie dans une position inclinée déterminée, un noyau creux E emboîte sur le premier de façon à ne laisser dépasser que la lame de la scie.

Les deux plateaux A et B dont il est composé sont creusés intérieurement de manière à ce que le premier noyau puisse glisser latéralement entre eux. L'inclinaison étant donnée, on serre l'écrou C de l'extrémité de l'arbre, de telle sorte que le plateau A vienne presser le noyau intérieur E et l'empêche de devier de la position qu'on lui a donnée. Cette disposition donne de bons résultats ; elle est ingénieuse et simple. Pour élever ou abaisser la scie à volonté, on se sert du châssis porte-scie F (*pl.* 205, *fig.* 3). Ce châssis a la forme d'un rectangle ; il est réuni au bâti par une charnière. Son extrémité G est commandée par une vis de manière à ce qu'on puisse l'élever ou l'abaisser suivant les besoins. Le bois est placé sur le plateau à coulisse H et peut, par ce moyen, être transporté horizontalement ; un ressort I, faisant fonction de repère, sert à fixer invariablement l'écartement qui doit exister entre deux rainures.

La mèche destinée à faire des mortaises peut les creuser obliquement par rapport à la face inférieure de la pièce de bois considérée comme plan horizontal. Pour cela, le chariot J, qui porte le bois à travailler, glisse dans une coulisse verticale KL, pendant qu'une autre coulisse le guide horizontalement ; enfin, le prisonnier qui le fixe permet d'imprimer à la pièce de bois un déplacement circulaire perpendiculairement à la direction de la mèche.

La pièce de bois est soutenue par un support N qui se meut verticalement.

L'arbre de la mèche est en même temps l'arbre moteur. Une courroie le relie à l'arbre de la scie, de telle sorte que les deux outils travaillent simultanément.

La vitesse de la scie est de 1,200 tours par minute, et celle de la mèche est de 2,200 tours.

Comme on le voit, cette application des scies est assez ingénieuse et remplit parfaitement le but qu'on se propose.

Ici se termine notre tâche ; nous voudrions être aussi sûrs de l'avoir remplie à la satisfaction de nos lecteurs que nous le sommes de ne pas nous être écartés de l'impartialité la plus rigoureuse.

A. RAUX et L. VIGREUX,
Ingénieurs civils.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXIII

LES MÉTAUX BRUTS

A L'EXPOSITION DE PARIS

PAR M. **H. DUFRENÉ**, INGÉNIEUR CIVIL

(Fin).

LE CUIVRE. — LE PLOMB. — L'ÉTAIN. — LE ZINC.

I. — Notice historique.

§ I. Le cuivre et ses alliages principaux, le premier avec l'étain, celui que nous appelons bronze, le second avec le zinc, celui que nous nommons laiton, ont été connus dans l'antiquité la plus reculée et à une époque antérieure aux plus anciens monuments historiques.

La découverte de l'or, dont les pépites et les paillettes se rencontrent à la surface même des alluvions, ayant conduit les hommes à connaître la valeur des substances métalliques, la présence du cuivre natif brillant et ductile sans doute fréquente sur les affleurements des filons dut attirer leur attention et les entraîner à imaginer le moyen de s'en procurer au moyen des substances avec lesquelles il se trouvait mêlé, c'est-à-dire à l'aide des oxydes et des carbonates d'un traitement très-facile. — Les carbonates de zinc et de cuivre se trouvant fréquemment associés (orichalcite ou buratite), la fabrication du laiton, métal plus dur et plus résistant que le cuivre, suivit de près la découverte de ce dernier métal. Enfin l'extraction de l'étain permit d'obtenir du bronze, et l'on eut des armes et des instruments médiocres, il est vrai, mais dont on se contenta jusqu'à l'époque à laquelle eut lieu la découverte du fer, et même longtemps encore après.

La Chine, la Chaldée et l'Égypte sont les pays où la connaissance des métaux remonte à la date la plus ancienne. Le Chou-king (livre des temps antiques), histoire des anciennes dynasties qui régnèrent en Chine de 2200 à 1000 avant Jésus-Christ, mentionne l'abondance du cuivre et de l'étain (1). — Sous le règne des Hia et des Chang le cuivre servait déjà de monnaie (2).

On a trouvé dans la vallée de l'Euphrate et dans celle du Nil des armes et des ustensiles de bronze remontant aux premiers temps de la civilisation. En Égypte, les tombeaux contemporains de l'époque à laquelle la grande pyramide fut construite (40 siècles avant J.-C.) renferment des ustensiles de bronze. Les sculptures des anciens monuments de grès et de calcaire qui remontent encore plus haut supposent certainement aussi la possession d'outils capables de les exécuter, c'est-à-dire la connaissance du bronze. Il est fort probable que les Égyptiens n'abordèrent le travail du granit qu'après la découverte du fer.

(1) Le P. de Mailla, *Hist. de la Chine*, XIII, p. 296.
(2) *Journal asiatique*, série III, 1837.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ils exploitaient plus de 4000 ans avant notre ère des mines de cuivre considérables dans le massif du Sinaï. On en a retrouvé récemment (à Ouady-Magarah) les vestiges entourés des ruines des ateliers de fusion. Des inscriptions hiéroglyphiques établissent d'une manière certaine que leur exploitation était fructueuse sous le règne de Koufou, qui bâtit la grande pyramide.

Au sortir de l'Égypte les Hébreux connaissaient naturellement le bronze; ils en enlevèrent aux Égyptiens et occupèrent leurs mines du Sinaï. Antérieurement à cette époque, il est signalé par Job (1). Pour la construction du tabernacle, Moïse en demanda aux Israélites près de 3,000 kilogrammes (2). Plus tard, au temps des rois, la tribu d'Aser, placée près du Carmel, s'adonna à la métallurgie : le voisinage de la Phénicie, où cet art était très-avancé, ainsi que la proximité du Liban et du Carmel, où l'on trouvait le minérai et le combustible, furent certainement les motifs qui la conduisirent à s'y livrer.

La fabrication du bronze suppose la connaissance de l'étain, et, comme ce dernier métal n'existait ni en Égypte ni en Phénicie, c'était le commerce qui l'y apportait. Il vint d'abord de l'Inde par voie de terre à travers l'Asie, la Médie, la Chaldée et le désert, puis du Caucase par l'Arménie, l'Euphrate et le désert de Syrie. Plus tard, c'est-à-dire vingt siècles à peu près avant notre ère, le commerce de l'étain suivit la voie de mer. Les vaisseaux des Pharaons, conduits par les marins de Sidon, et plus tard ceux de Salomon, montés par des Tyriens, doublaient l'Arabie et allaient aborder vers les bouches de l'Indus, la contrée que la Bible désignait sous le nom d'*Ophir*, que les Grecs appelaient *Syrastrène* (sanscrit *su-vashta*, beau royaume), et qui est la province de Guzarhate. Quant à l'étain du Caucase, il venait par le Pont-Euxin, le Bosphore et la mer Égée.

Ce métal devait avoir une haute valeur du temps d'Homère. Dans l'*Iliade*, Vulcain l'entremêle à l'or sur le bouclier d'Achille ; les cnémides du héros sont faites avec le *flexible* étain.

A peu près à l'époque de la guerre de Troie, les Phéniciens de Tyr découvrirent les mines de la Bétique (*Turdétanie*, *Tharsis*, *Tartessus*), dont l'extrême abondance les dispensa de la navigation du Pont-Euxin. Cette exploitation durait depuis cinq cents ans quand leur esprit aventureux, ou peut-être l'épuisement des mines de l'Espagne méridionale, les amena à découvrir le gisement d'étain de la côte britannique, environ un siècle avant la fondation de Marseille.

On prétend que les Tyriens s'étaient déjà depuis longtemps frayé un passage à travers la Gaule, fondant Alésia sur leur route, et gagnant la Bretagne par la Seine. Quoi qu'il en soit, ils enseignèrent aux indigènes à extraire l'étain de son minerai, car Diodore de Sicile nous apprend que ces derniers le coulaient en forme de dé et l'envoyaient dans l'île d'Ictis (Wight), où les marchands l'achetaient pour le transporter à Narbonne. La traversée de la Gaule par terre s'accomplissait en 30 jours (3). Suivant Strabon (4), ce commerce se faisait par les navires venètes jusqu'à l'embouchure de la Loire, et de là à Arles par la Loire, la Saône et le Rhône. On donnait du cuivre aux Bretons en échange de leur étain, leurs mines de cuivre étant encore inconnues ou inexploitées.

Les Tyriens avaient caché aux Carthaginois l'existence et la route du Cornwall, c'est Himilcon qui découvrit l'un et l'autre. Les Carthaginois ne les divulguèrent pas non plus aux Grecs, mais ceux-ci finirent aussi par les trouver. Ces derniers nommèrent « Cassitérides, » les îles Sorlingues dans lesquelles ils supposaient l'existence des célèbres mines. Pline dit qu'on les appelle ainsi à cause de l'a-

(1) *Job*, XXVIII, 12.
(2) *Exod.*, XXX, 13.
(3) Diod. Sicul, l. V, XXII.
(4) Strab., l. IV, 1.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bondance du plomb qu'elles renferment, *a fertilitate plumbi* (1), et cette erreur apparente provient du sens vague des mots qui signifient étain.

Suivant Tychsen, l'hébreu « *bedil* » et l'arabe « *badal* », qu'on traduit habituellement par *étain*, veulent dire « *ce qu'on sépare* » ; scorie serait donc une traduction fidèle de ces mots, d'après Beckman, mais il est plus probable que la signification du mot lui-même ne fait que rappeler l'origine de la chose (2). En grec κασσίτερος dérive du sanscrit *Kastiva*, qui vient lui-même de *Kaça-tira* (luisant aminci) ; ce mot a pour équivalent dans Pline tantôt *stannum*, tantôt *plumbum candidum*. Dans certains cas *stannum* signifie plomb d'œuvre, plomb argentifère, et c'est cette confusion qui explique le passage de Pline cité plus haut, ainsi que plusieurs autres (3). — L'opinion d'Agricola est entièrement conforme à cette interprétation (4). Il faut ajouter toutefois qu'on désignait sous le nom de *vasa stannea*, ces vases de cuivre étamé où l'on conservait le sel et l'huile, invention gauloise dont le mérite revient aux Bituriges (5).

Le minerai d'étain se trouvait en Lusitanie et en Gallicie. « C'est un sable à fleur de terre, de couleur noire, on ne le reconnaît qu'au poids.... Les mineurs lavent ce sable et calcinent le dépôt dans les fourneaux (6). » On ne fait pas autre chose aujourd'hui.

Au sixième siècle, d'après le poëte Fortunatus, la toiture de l'église d'Agen était revêtue d'étain. Suivant Grégoire de Tours (7), Clotaire fit couvrir en étain la basilique de Saint-Martin : c'était sans doute du cuivre étamé.

L'Espagne continua jusqu'au commencement du huitième siècle à fournir de l'étain, mais l'invasion des Maures en 710 fit fermer les mines. Celles de Grauppen furent découvertes soit en 1146 par un nommé Wnadec, soit en 1241 par un mineur du Cornwal. L'étain allemand devint en peu de temps si bon marché qu'il alla se vendre en Angleterre.

L'invention du fer-blanc remonte à la fin du seizième siècle ; il fut introduit de Bohême en Saxe en 1620. En 1670, une compagnie anglaise envoya un nommé Yarrant en Saxe pour y apprendre le procédé. Cette tentative ne paraît pas avoir réussi, mais en 1730 une fabrique établie à Pontypool fournissait des feuilles rivalisant avec les produits saxons. Colbert tenta, mais sans succès, de monter une manufacture à Beaumont-la-Ferrière ; on en établit en Alsace et en Lorraine qui réussirent mieux.

L'étain des Indes, qui avait alimenté si longtemps les fonderies de Sidon, de Sarepta et de Tyr, reparut sur le marché européen en 1516. Malacca, Sumatra et surtout l'île de Banca n'ont pas cessé depuis de nous en envoyer, bien que la production anglaise suffise presque à la consommation européenne.

La monnaie d'étain avait cours à Sumatra avant l'arrivée des Portugais ; le métal provenait de la presqu'île de Malacca, les mines de Banca n'ayant été découvertes qu'en 1711. En 1776 l'étain était exploité par le sultan de Palembang (Sumatra), mais depuis lors les Hollandais se sont emparés des mines.

Il existe en France quelques filons d'étain ; un seul a été l'objet d'une exploitation, c'est celui de Piriac, près du Croisic, dans la Loire-Inférieure.

§ II. Une confusion analogue à celle que nous avons signalée plus haut conduit à traduire le mot *æs*, tantôt par cuivre, tantôt par bronze ou airain,

(1) Pline, l. IV, XXXVI.
(2) *Isaïe*, I, 25.
(3) Pline, l. XXXIV, XVI.
(4) Ag., *de Re metal.*, l. IX et l. XI.
(5) Pline, l. XXXIV, XLVIII.
(6) Id., l. XXXIV, XLVII.
(7) Grég. de Tours, *Hist. des Francs*, l. IV, XX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tantôt par laiton. *Æs cyprium*, ou par abréviation *cyprium*, puis (au quatrième siècle), par corruption, *cuprum* peut se traduire par cuivre, mais *æs* sans épithète signifie indifféremment bronze ou laiton.

L'industrie du cuivre remontait chez les Romains aux premiers temps de leur histoire : le troisième collége d'ouvriers établi par Numa était celui des fondeurs en cuivre (1), qui avaient probablement appris leur art des Étrusques, élèves eux-mêmes des Phéniciens.

Les meilleurs cuivres étaient ceux de Campanie, de Bergame, des Centrons (Alpes), de Cordoue et surtout celui de Chypre (2), dont les mines avaient été découvertes par Cinyra, fils d'Agriopas. Les fonderies d'Égine étaient renommées; on y faisait principalement les bobèches des candélabres, dont les fûts se fabriquaient à Tarente (3). Le cuivre de Chypre était très-malléable et se réduisait facilement en feuilles. Pour la chaudronnerie on estimait celui de Campanie, et c'était à Capoue, héritière de l'antique réputation des chaudronniers arméniens, que se faisaient les meilleurs vases au marteau. Pour cela on alliait le cuivre avec 10 p. 100 d'étain argentaire, composé de parties égales de plomb et d'étain, ce qui donnait la composition suivante : cuivre 90 — étain 5 — plomb 5. Quant au cuivre des Gaules, il était noir et cassant.

On estimait beaucoup pour les statues l'airain de Corinthe, alliage complexe produit, disait-on, par l'incendie qui suivit la prise de cette ville l'an 608 de Rome; suivant Martial, les connaisseurs prétendaient le reconnaître même à l'odorat.

Le minerai de cuivre se nommait cadmie et était sans doute un carbonate de cuivre souvent associé à la calamine, appelée elle-même cadmie. On obtenait par une simple réduction dans un fourneau, soit du cuivre, soit du laiton. D'après Posidonius (4), dans l'Espagne méridionale, la mine était tellement riche, que le cuivre métallique représentait un quart de la masse extraite. Le même fait est affirmé par Diodore (5).

En Chypre, au moins dans la plupart des usines, le cuivre devait renfermer du zinc, car Pline parle de l'oxyde de zinc qui se rassemblait à la partie supérieure des fourneaux (6) et qu'on utilisait en médecine sous le nom de cadmie et sous beaucoup d'autres désignations tout à fait arbitraires. Ce nom de cadmie dérive évidemment de Cadmus et est une trace de l'origine phénicienne de la métallurgie de cuivre.

Les anciens, chez lesquels le bronze tenait la première place parmi les métaux usuels, en avaient amassé une prodigieuse quantité pour la décoration de leurs maisons, de leurs places et de leurs temples. L'airain remplaçait encore le fer sous l'empire dans presque toutes ses applications ; on peut dire qu'au premier siècle le fer, d'un prix encore élevé, s'employait seulement dans le cas où nous nous servons aujourd'hui de l'acier ordinaire : tout le reste était le domaine du bronze.

La quantité d'airain trouvée à Rome et ailleurs par les Barbares alimenta leurs besoins durant une longue période pendant laquelle l'art de la métallurgie tomba en pleine décadence. La reprise de cette branche de l'industrie n'eut guère lieu qu'à l'époque où les Arabes se trouvèrent à la tête de la civilisation.

Les anciens n'avaient exploité que des minerais faciles et purs, des carbonates et des oxydes ; il arriva que l'épuisement de ces mines força d'avoir recours aux sulfures, dont la réduction est encore aujourd'hui une opération difficile.

(1) Pline, l. XXXIV, I.
(2) Id., l. XXXVIII, II.
(3) Id., l. XXXIV, V.
(4) Posidon., ap. Strab., l. III, 9.
(5) Diod. Sicul., l. V, XXXVI.
(6) Pline, l. XXXIV, XXXIV.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sans pouvoir préciser le moment où eut lieu la découverte du procédé qui permettait d'exploiter les pyrites, on peut dire qu'il est antérieur au neuvième siècle.

Les mines de Thuringe étaient exploitées du temps de Charlemagne, celles du Harz ne furent ouvertes qu'en 968. Au quatorzième siècle, l'exploitation du cuivre de l'Erzegebirge était en pleine prospérité. Le seizième siècle fut le témoin d'une grande activité métallurgique. Les Anglais, qui avaient enseigné aux Allemands la manière d'extraire de l'étain, apprenaient d'eux à tirer parti des riches mines de Cornwall ; l'Autriche tenait le premier rang par sa production, la Saxe le second ; l'exploitation de cuivre du pays de Mansfeld enrichissait ses comtes ; en France, et principalement dans les Vosges, l'industrie des métaux avait pris faveur. Au siècle suivant, la guerre de Trente Ans vint bouleverser l'Allemagne, dont les principales mines furent fermées, au grand profit de l'Angleterre restée jusqu'à nos jours la maîtresse du commerce des cuivres.

§ III. Le mot latin *æs* correspond encore à l'alliage de cuivre et de zinc que nous nommons laiton. Sa production dans l'antiquité n'a sans doute pas toujours été le but direct du traitement ; car, ainsi que nous le disions plus haut, le minerai de cuivre des anciens renfermait souvent du zinc, et son traitement devait nécessairement fournir l'alliage en question. En tous cas, ils savaient transformer le cuivre en laiton, et l'existence de ce dernier alliage est partout contemporaine de celle du bronze.

Ce qu'ils désignaient sous le nom de cadmie était tout à la fois le carbonate de cuivre, celui de zinc (calamine), le mélange de ces deux minerais, enfin l'oxyde de zinc sublimé plus ou moins impur. Tutia ou toutia paraît avoir aussi désigné la calamine et l'oxyde (*pompholix* ou *lana philosophica*) à des degrés plus ou moins grands de compacité. Albert le Grand dit que le cuivre jaune se fait en ajoutant de la calamine ou de la tutia au métal fondu ; cependant on rejetait les produits de la condensation des vapeurs de zinc, et c'est Erasmus Ebener qui fit voir en 1550 qu'on pouvait les employer pour la fabrication du laiton.

Il est à peu près prouvé aujourd'hui que les anciens ont connu le zinc métallique, mais le moyen de l'extraire semble s'être perdu jusqu'au quinzième siècle.

Paracelse le nomme le premier, il dit qu'il n'est pas malléable et qu'on le fait en Corinthie. Agricola l'appelle *liquor candidus* (1). En 1617, les ouvriers en faisaient de petits lingots qu'ils vendaient à leur profit. Savot mentionne vers 1635 la prise d'un navire portugais chargé d'un métal qu'on appelait *speautre*, et qui n'était autre chose que du zinc. Ce navire venait des Indes orientales, où le zinc était certainement connu avant de l'être en Europe. Aujourd'hui encore les Anglais le désignent sous le nom de *spelter*, mot dont l'étymologie est indienne.

Henkel est le premier qui l'obtint directement de la calamine en 1741, et Anthony von Swab celui qui le distilla pour la première fois en 1742. En 1743, Champion établit à Bristol la première usine régulière. Sa patente ne date que de 1758 ; il le tirait d'un minerai jusque-là sans valeur, qu'il appelle *black jack*, *mock jack* et *lapis calaminaris*.

De 1775 à 1780, la Compagnie des Indes hollandaises tira de la Chine, de Malacca et du Bengale une énorme quantité de zinc qui se vendait à Amsterdam 70 florins banco les cent livres anglaises.

En 1780, Sanderson parvint à l'extraire de la blende. Ses usages restèrent très-bornés jusqu'en 1805, époque à laquelle Sylvester trouva le moyen de le laminer et de l'étirer en le chauffant à une température variable de 100° à 150°. Aujourd'hui ses applications sont innombrables.

(1) Agric., *de Re metal.*, l. IX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ IV. La haute antiquité de la découverte du plomb est incontestable, et la facilité avec laquelle ses minerais peuvent être réduits en est la cause probable. On a trouvé dans les tombeaux égyptiens et dans la sépulture de la Chaldée des spécimens de ce métal remontant au vingtième siècle avant Jésus-Christ. Job le mentionne comme une chose usuelle (1). Les Phéniciens, qui l'employaient en guise d'ancre pour amarrer leurs navires, le tirèrent de l'Espagne méridionale après la fondation de Gadès. Dans Homère la forte densité du plomb est remarquée (2), de même que son peu de résistance : la lance d'Iphidamas plie comme du plomb sur la lame d'argent du bouclier d'Agamemnon (3). Son emploi ou plutôt celui de son sulfure pour vernir les poteries était connu du temps de Salomon (4). Le plomb ne semble pas avoir eu une valeur vénale très-considérable dans l'antiquité, mais il était surtout recherché à cause de la quantité d'argent qu'il contient souvent. Les mines de Carthagènes, si célèbres sous la domination carthaginoise et pendant l'occupation romaine pour la quantité d'argent qu'elles produisaient, ne sont autres que des filons de galène très-riche en argent.

Ces mines, dans les temps derniers de la république romaine, employaient quarante mille esclaves et produisaient 25,000 drachmes par jour (5). On a trouvé dans les ruines de cette exploitation un lingot de plomb dont l'apparence ne diffère pas beaucoup des formes actuelles et qui figurait dans la galerie de l'histoire du travail.

La coupellation était alors connue : Strabon en parle et Diodore de Sicile la décrit assez bien, au moins comme moyen de purifier l'or (6). Suivant Pline, le minerai était soumis à deux opérations : le résultat de la première était ce qu'il appelle *stannum*, sans doute le plomb argentifère ; le produit de la seconde était l'argent, et il restait la galène qu'il nomme aussi molybdène (7), c'est-à-dire la litharge, laquelle, fondue de nouveau, fournissait du plomb métallique avec un déchet des deux neuvièmes (8). Un alliage composé de parties égales de plomb et d'étain prenait le nom d'étain argentaire ; un autre alliage, renfermant les deux tiers de plomb et un tiers d'étain, s'appelait étain tertiaire et servait pour la soudure (9).

Suivant le même auteur, le plomb se trouvait en Espagne et dans toute la Gaule, mais il n'était nulle part aussi abondant qu'en Bretagne. La mine de Santare en Bétique était affermée 209,000 francs par an, la mine Antonienne produisait 180,000 kilogrammes de plomb dans le même espace de temps (10). La litharge servait en médecine, et la meilleure venait de Zephyrium en Cilicie. On avait reconnu qu'elle s'attachait au fourneau où l'on fondait l'argent, ce qui prouve l'emploi de la coupellation pour l'extraction ou la purification de ce dernier métal (11). La céruse était également connue, on la fabriquait en mettant des râpures de plomb au-dessus d'un vase contenant du vinaigre (12) ; la meilleure venait de Rhodes.

(1) *Job*, XIX, 24.
(2) Homère, *Il.*, XXIV.
(3) Id., *ibid.*, XI.
(4) *Prov.*, XXVI, 23.
(5) Strabon, l. III, 10.
(6) Diod. sicul., l. III, XIX.
(7) Pline, XXXIV, 53.
(8) Id., *ibid.*, 47.
(9) Id., *ibid.*, 48.
(10) Id., *ibid.*, 49.
(11) Id., *ibid.*, 53.
(12) Id., *ibid.*, 54.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant tout le moyen âge l'extraction du plomb fut assez active, et ses applications devinrent nombreuses. Les perfectionnements apportés au procédé de la coupellation amenèrent à traiter pour argent des plombs de moins en moins riches, et il arriva cette circonstance singulière, qu'on put coupeller avec avantage les plombs des vieux bâtiments : on ne manqua pas de dire que le temps les avait enrichis.

Les mines de plomb situées sur notre territoire furent exploitées d'une manière assez avantageuse au quatorzième, au quinzième et au seizième siècle, principalement celles des districts métallifères des Vosges : la Croix-aux-Mines, Giromagny, Saint-Jean-d'Aunel, etc. La mine de Chitry (Nièvre) fut découverte en 1493, et donna des produits abondants. La plus grande partie de ces mines furent abandonnées dans la seconde moitié du dix-huitième siècle.

En 1623, Gomeldon imagina le traitement de la galène à la houille; les perfectionnements dans les procédés et dans les appareils devinrent dès lors de plus en plus nombreux, et nous ne pouvons songer à les énumérer. Nous mentionnerons seulement la méthode Pattinson, inventée en 1823 et permettant d'enrichir par la coupellation des plombs regardés jusqu'alors comme trop pauvres pour qu'on pût en retirer avantageusement l'argent. Nous citerons encore le procédé Parkes, remontant seulement à 1850, et qui consiste à mêler au plomb argentifère fondu une certaine quantité de zinc, lequel, entraînant tout l'argent, surnage sous forme d'écume et est traité à part.

II. — Métallurgie de l'étain.

L'étain du commerce contient généralement de petites quantités de métaux étrangers, principalement de l'antimoine, du fer, du cuivre et de l'arsenic. Celui qui provient de Malacca et de Banca est presque chimiquement pur; l'étain d'Angleterre, dont la production représente les neuf dixièmes de la consommation européenne, renferme généralement du cuivre et de l'arsenic; celui de Saxe est le plus impur.

On évalue la pureté de l'étain à l'intensité de son cri, c'est-à-dire du bruit qui se manifeste quand on plie une baguette de ce métal, et qui provient du froissement ou de la rupture des cristaux composant sa masse. En coulant une petite quantité d'étain fondu, sa surface reste très-brillante, s'il est pur. Quelques millièmes de métaux étrangers lui donnent une apparence grenue ou cristalline. Il fond à 228°, et sa densité atteint 7,28.

Son minerai principal et presque exclusif est le bioxyde. Il se présente dans deux conditions bien différentes qui influent sur le procédé à suivre pour son traitement et sur la pureté du métal obtenu. On le trouve en filons, et il est alors mélangé d'un grand nombre d'autres substances dont les principales sont : le mispickel, le wolfram, le tungstate de chaux, le fer oxydé et les sulfures de cuivre, de fer et de zinc.

On le rencontre aussi dans les alluvions anciennes, et comme ce minerai provient alors du lavage des filons préexistants, il en résulte que la plupart des substances étrangères ont été éliminées et que l'oxyde se trouve dans un état de pureté remarquable. Tels sont les célèbres gisements de Banca. On trouve aussi de l'étain d'alluvion en Saxe et dans le Cornwall.

Quand on traite l'oxyde d'étain des filons, on commence par faire subir au minerai trié un grillage à l'air libre qui, rendant très-friables les gangues quartzeuses, a aussi pour but, en oxydant les sulfures, de faciliter leur séparation par le lavage. Un second grillage dans un four à réverbère achève la purification et a principalement pour effet de chasser l'arsenic et de trans-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

former le sulfure de cuivre en sulfate. Il s'agit alors de réduire à l'état métallique le peroxyde d'étain enrichi à environ 70 p. 100 par le traitement que nous venons de décrire. Quant aux minerais d'alluvion, un simple lavage suffit pour le rendre propre à passer au fourneau.

Il y a deux méthodes principales de traitement : la première, généralement employée quand il s'agit de minerais riches contenant de 75 à 80 p. 100 d'étain, consiste à réduire l'oxyde dans un fourneau à manche en présence de charbon de bois ; la seconde, ordinairement réservée à la réduction de l'étain de filons enrichi à 60 p. 100, est caractérisée par l'emploi de fours à réverbère chauffés à la houille.

Le fourneau à manche dont on se sert en Saxe, que nous avons représenté figure 1, se compose d'un tronc de cône renversé A, ayant environ 4 mètres de hauteur; une tuyère inclinée fournit le vent, et le métal réduit se rend dans un avant-creuset B où il s'accumule pendant l'opération. Quand le fourneau est en train, on le charge de lits alternatifs de minerai et de charbon ; on y jette environ 20 kilogrammes de minerai tous les quarts d'heure. La réduction s'opère très-facilement, le vent est peu abondant et sa pression faible. La gangue étant quartzeuse, il se forme du silicate de fer, et quand cette quantité de quartz est trop considérable, on est obligé d'ajouter des scories des opérations précédentes.

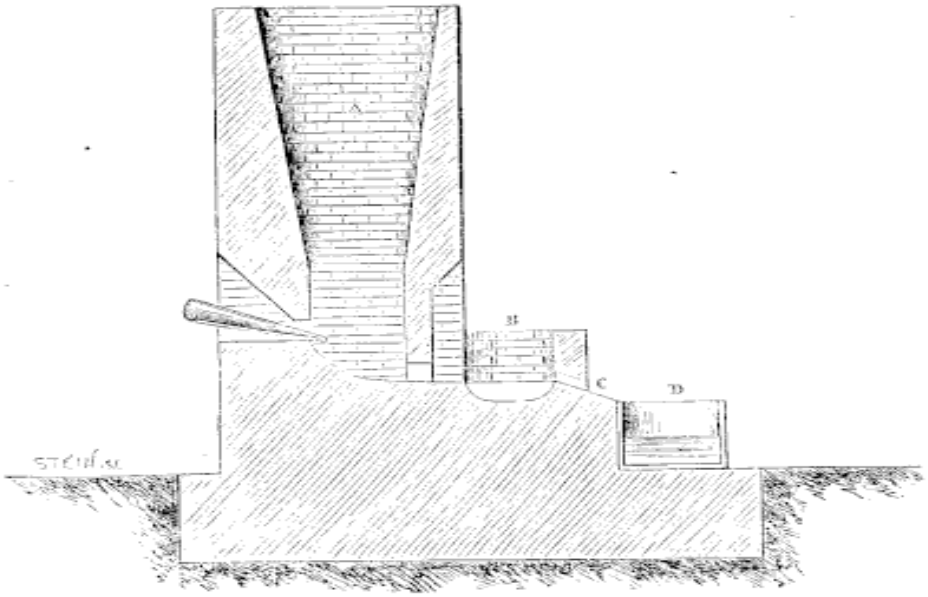


Fig. 1. — Fourneau pour l'extraction de l'étain.

L'étain qui a coulé dans l'avant-creuset B se trouve mêlé de scories et de quelques métaux étrangers. On le laisse reposer, puis on débouche le trou C, afin de laisser tomber le métal dans le bassin D. Là il est brassé au moyen de perches de bois vert, lesquelles, en brûlant, fournissent du gaz dont l'ascension fait bouillonner le bain métallique et force les scories à surnager. Il ne reste plus qu'à les enlever et à couler l'étain dans la lingotière au moyen de poches.

Cette méthode, qui nécessite l'emploi de 1,550 à 1,600 kilogrammes de charbon par tonne d'étain, donne environ 65 kilogrammes de ce métal par 100 kilogrammes de minerai enrichi, comme nous l'avons dit plus haut.

Le fourneau à réverbère s'emploie principalement en Angleterre, et on y traite du minerai provenant des filons. L'opération se fait sur une plus grande

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

échelle et le combustible dont on se sert est la houille. Il en résulte une économie notable, mais le produit est moins pur. Le four à réverbère, dont la sole est elliptique, communique avec un double bassin placé sur l'un des côtés du four. On mélange le minerai avec de la houille menue et une quantité variable de spath-fluor. L'opération dure environ six heures; vers la fin, on brasse le mélange et on fait couler le métal dans le bassin extérieur, d'où, au moyen de poches, on le porte dans les lingotières. Le seul soin à avoir est de ménager le feu afin d'éviter, premièrement, si on pousse la chaleur trop loin, de réduire l'oxyde de fer et d'obtenir un métal impur; secondement, si on n'élève pas assez la température, de perdre de l'étain, par suite d'une réduction incomplète.

Les lingots d'étain ainsi obtenus ont besoin d'être purifiés par liquation. Pour cela, on les place sur la sole d'un four à réverbère très-peu chauffé, et on recueille le métal qui coule goutte à goutte. Ce qui reste dans le four est un alliage métallique sans emploi. On traite ainsi au réverbère des minerais enrichis à 70 p. 100, et on consomme 1,700 kilogrammes environ de houille par tonne d'étain produit.

L'Exposition n'était pas très-brillante en ce qui concerne les produits des minerais stannifères. Nous ne pouvons guère citer que les échantillons apportés par la Compagnie Ystalyfera de Swansea. Les exposants réunis des Indes orientales hollandaises, possesseurs des riches mines de Malacca et de Banca, se sont contentés d'exposer quelques minerais.

III. — Le cuivre. — Son extraction.

Le cuivre ordinaire renferme toujours un peu de fer, quelquefois du soufre et de l'oxydule, qui lui enlèvent beaucoup de sa malléabilité. A l'exception de l'or et du baryum, c'est le seul métal coloré, tous les autres sont plus ou moins blancs. Cette couleur rouge caractéristique, accompagnée d'un éclat soyeux particulier, est pour ce métal un indice de pureté. Une très-faible quantité de métaux étrangers suffit pour modifier ses propriétés, et comme cette altération du cuivre ne se manifeste pas toujours par ses caractères extérieurs, il est nécessaire de l'essayer en l'étirant, en le refoulant, etc., à chaud et à froid. M. Ortolan a donné en détail une méthode d'essai du cuivre dans les *Annales du Génie civil* (1); nous y renvoyons le lecteur.

Une des propriétés les plus remarquables du cuivre, propriété qu'il communique à ses alliages, c'est de devenir extrêmement mou quand il est trempé, tandis qu'il acquiert une dureté assez considérable si on le laisse refroidir très-lentement. Le bronze à 10 ou 12 p. 100 d'étain devient, par suite de ce refroidissement ménagé, assez résistant pour que les anciens aient pu en fabriquer des armes et des outils. La densité du cuivre fondu est de 8,85, celle du cuivre forgé va jusqu'à 8,95.

Les minerais extrêmement nombreux peuvent être renfermés en trois classes :

1° Les minerais de facile traitement : le cuivre natif, les oxydes, les carbonates, les chlorures, contenant de 60 à 90 p. 100 de métal;

2° Les minerais de traitement difficile : ce sont les sulfures qui, très-abondants, fournissent les trois cinquièmes du cuivre produit annuellement. Beaucoup d'entre eux n'en renferment que 3 p. 100 ;

3° Les cuivres gris contenant de l'arsenic, de l'antimoine et souvent de l'argent.

Les minerais de la première classe sont très-facilement réduits quand on les traite dans un fourneau à manche en présence du charbon : l'opération est

(1) *Annales du Génie civil*, mai 1868, p. 332.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

extrêmement simple. Il n'en est pas de même quand on a à traiter le sulfure double de cuivre et de fer qui est le minerai le plus commun.

Sur le continent, ce traitement se fait généralement dans des fourneaux à manche, dans des demi-hauts fourneaux et même dans de véritables hauts fourneaux ayant jusqu'à 7 et 8 mètres de hauteur. En Angleterre, au contraire, on emploie d'une manière exclusive les fours à réverbère, et les opérations s'y font sur une très-grande échelle.

Quels que soient les appareils adoptés, la réduction des pyrites cuivreuses à l'état métallique comprend une série de grillages et de fusions successifs ayant pour but de diminuer à chaque opération la quantité de fer et celle de soufre, en augmentant naturellement la richesse en cuivre.

Quand on grille les pyrites, il se produit des oxydes de fer et de cuivre et il se dégage de l'acide sulfureux. Si l'on fond le résultat de ce grillage en présence de matières riches en silice, le fer ayant une affinité plus considérable pour l'oxygène que pour le soufre, et le cuivre au contraire se combinant plus facilement avec le soufre qu'avec l'oxygène, ce dernier métal passera de l'état d'oxyde à celui de sulfure aux dépens du soufre de la pyrite ferrugineuse, et l'oxyde de fer, résultat de cet échange joint à celui qu'avait directement donné le grillage, se combinera avec la silice pour passer dans les scories.

Il en résulte une masse fondue, qu'on nomme *matte* dans les usines, contenant plus de cuivre et moins de soufre et de fer que le minerai primitif. Une série de grillage des mattes et de fusions porte la richesse à 93 ou 95 p. 100, et donne un produit désigné sous le nom de *cuivre noir*, renfermant encore un peu de soufre, du fer, de l'antimoine, ainsi que tout l'argent que pouvait contenir le minerai.

IV. — Méthode anglaise.

Le minerai le plus répandu en Angleterre est la pyrite de cuivre. C'est à Swansea, dans le pays de Galles, qu'est concentrée presque toute la production du cuivre ; on y traite non-seulement les pyrites du Cornwall, mais encore une immense quantité de minerais étrangers de toutes sortes et de toutes provenances, principalement ceux de Santiago de Cuba, de Coquimbo (Chili), d'Espagne, de Russie, etc.

Ce qui caractérise la méthode anglaise, c'est l'emploi de la houille, l'usage de fours à réverbère et le traitement en masses considérables. Cette méthode s'étend à la réduction des minerais de toute nature : l'enrichissement progressif des mattes permet en effet d'assimiler aux résultats des fusions successives et des grillages des matières cuivreuses de plus en plus riches entrant ainsi à leur tour en opération, sans nécessiter un traitement spécial.

Pour cela on divise les minerais en cinq classes :

1° Cuivre oxydé ou carbonaté très-riche, teneur..... 75 p. 100
2° Cuivre oxydé et sulfuré également riche, teneur..... 35 p. 100
3° Cuivre pyriteux contenant peu ou point de fer, teneur..... 20 p. 100
4° Pyrite de cuivre et de fer, teneur..... 20 p. 100
5° Même minerai très-pauvre, teneur..... 3 à 5 p. 100

La première opération consiste dans le grillage des minerais sulfurés les moins riches. On emploie un four à réverbère muni de quatre portes de travail et dont la sole n'a pas moins de $5^m,50$ de longueur sur $3^m,50$ de largeur. Le grillage se prolonge environ pendant 12 heures, et le combustible dont on se sert à Swansea est un mélange composé de 75 p. 100 d'anthracite et de 25 p. 100 de houille grasse. Le travail est continu ; aussitôt qu'une opération est terminée, on fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tomber le minerai partiellement désulfuré et on introduit une nouvelle charge au moyen de larges trémies placées sur la voûte du four.

La seconde opération a pour but la fusion des produits grillés, afin d'éliminer une portion du fer qu'ils contiennent. Elle se fait dans un four à réverbère chauffé par le même mélange que ci-dessus. On enrichit la matte en ajoutant au lit de fusion une certaine quantité de minerais bruts de la troisième classe, contenant peu ou point de fer, c'est-à-dire ayant la même composition chimique que la matte qui va se produire. Le four à réverbère permet encore un travail continu et fournit une matte renfermant de 30 à 35 p. 100 de cuivre. On la coule dans l'eau, de manière à la granuler et à rendre plus facile un grillage ultérieur qui constitue la troisième opération.

Celle-ci s'exécute dans le même four que la première, mais la matière plus compacte exige un temps à peu près trois fois plus considérable. Il se produit des oxydes de fer et de cuivre et de l'acide sulfureux.

La quatrième opération consiste dans la fusion de la matte grillée à laquelle on ajoute des minerais bruts de la seconde classe. On dispose la proportion des matières de telle sorte que le fer soit totalement entraîné par la silice à l'état de scories et que le cuivre reste seulement uni au soufre. La matte fondue a une couleur plus blanche. Elle se coule dans une rigole en sable et contient environ 70 à 72 p. 100 de cuivre.

On arrive ainsi à un produit intermédiaire à peu près exempt de fer et de silice et ne renfermant guère que du soufre et quelques métaux étangers. Un nouveau grillage est donc nécessaire, et cette cinquième opération donne le cuivre noir dans un état de pureté relative assez considérable, si on le compare au produit de même nature obtenu au moyen du fourneau à manche. On mélange donc avec la matte blanche des minerais très-riches de la première classe et on grille le tout dans un four à réverbère.

Une sixième opération transforme le cuivre noir en cuivre malléable, elle n'est autre chose qu'un raffinage pratique sur une grande échelle. Huit à dix tonnes de cuivre sont traitées à la fois dans un four dont on emplit complétement la capacité. La flamme détermine la production d'une certaine quantité d'oxyde de cuivre qui, réagissant sur le soufre et sur les métaux étrangers, passe avec eux dans les scories.

La matière coulée est du cuivre à peu près pur, qu'on affine complétement dans une septième et dernière opération en le fondant en présence du charbon. Il importe que le travail soit arrêté à temps afin d'obtenir un cuivre très-malléable, également exempt de carbone et d'oxydule.

V. — Traitement des minerais de cuivre à Atvidaberg.

L'Exposition renfermait les modèles des fourneaux employés à l'importante usine d'Atvidaberg en Suède, où l'on traite les pyrites sur une assez grande échelle. En 1865, 24,928 tonnes de minerais d'une richesse moyenne de 4 p. 100 ont donné 1,014 de cuivre. Nous allons dire quelques mots de la méthode qu'on y suit et décrire les appareils qu'on y emploie.

Les pyrites cuivreuses sont de plusieurs provenances et renferment souvent de la pyrite magnétique et de la blende. Dans ce cas elles subissent un premier grillage, puis on les fond dans un fourneau à manche représenté figure 2, page suivante. Il se compose d'une cheminée A et d'une cuve C surmontée d'un gueulard de chargement E. Les matières sont amenées au moyen d'un wagon qui arrive jusqu'au gueulard et qu'on vide directement dans la cuve. Une hotte B sert à re-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cueillir et à enlever les fumées qui se produisent vers le bas de l'appareil et qui pourraient gêner les ouvriers. F est l'embrasure des tuyères, H un contrevent,

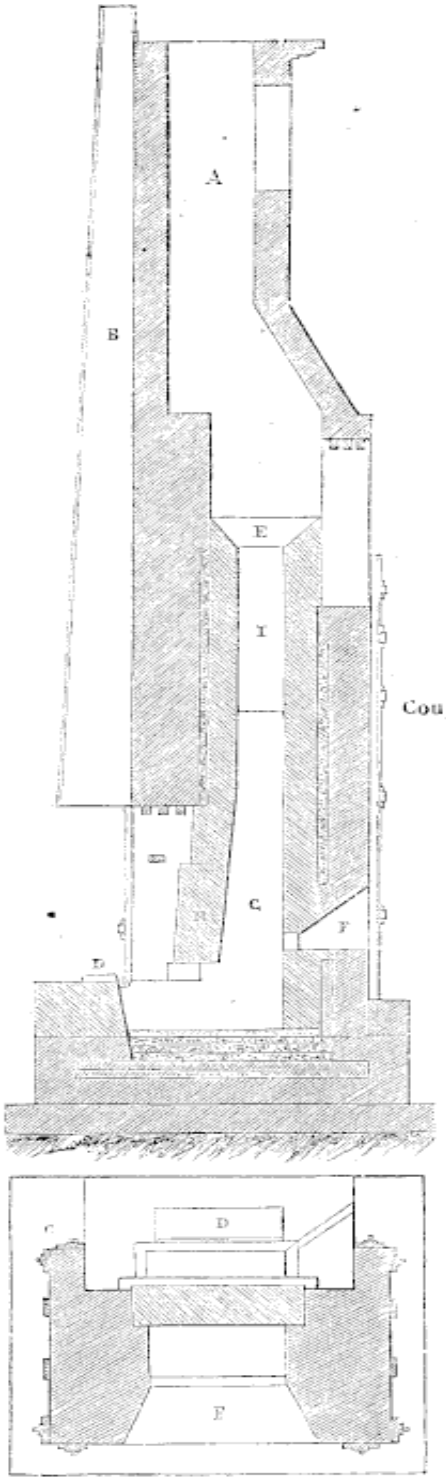


Fig. 2. — Four à manche d'Atvidaberg.

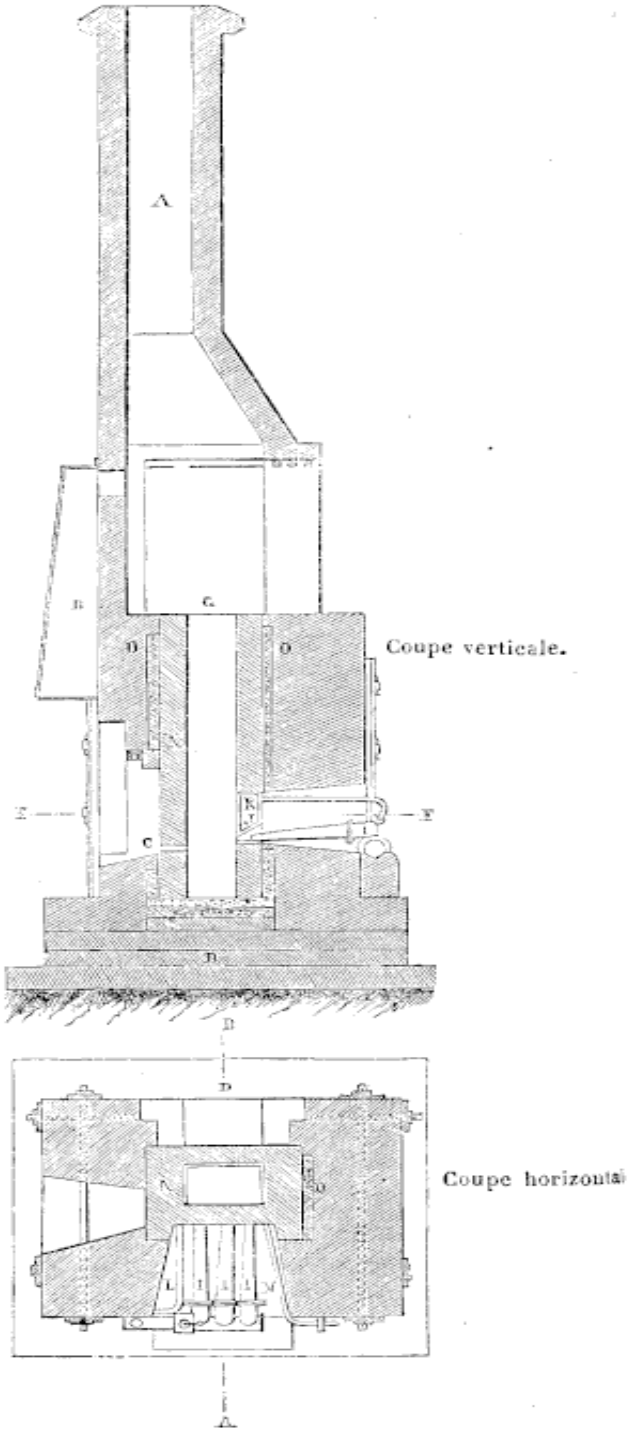


Fig. 3. — Four à fondre le cuivre noir.

une cloison I divise la cuve en deux parties, mais elle ne descend qu'au tiers de la profondeur du fourneau.

Les mattes produites par la fusion sont grillées jusqu'à six fois à l'air libre, puis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

refondues pour cuivre noir avec des scories précédentes. Pour une tonne de cuivre noir contenant 92 p.100 de cuivre, on brûle environ 2,400 kil. de charbon.

La fonte du cuivre noir se fait dans le fourneau que représente la figure 3. A est la cheminée, B une hotte pareille à celle du four pour la fusion des mattes. Un trou C sert pour les outils à l'aide desquels on brasse la matière, G est le gueulard, I le porte-vent. Les trois tuyères J se rendent dans une seule caisse K à circulation d'eau. L'eau froide arrive par le tuyau L et sort par le tuyau M.

L'affinage se fait dans les fourneaux bas à la manière ordinaire : 591 tonnes de cuivre noir ont donné à Atvidaberg 494 tonnes de cuivre affiné.

VI. — Le cuivre à l'Exposition.

En France nous ne possédons pas de mines de cuivre exploitées d'une manière bien régulière ; nous citerons cependant les produits exposés par les usines de Biache-Saint-Waast, dans le Pas-de-Calais.

L'Allemagne était au contraire bien représentée. Nous mentionnerons les cuivres du pays de Mansfeld, dont l'exploitation bien conduite donne un métal très-malléable, à en juger par l'immense fond de chaudière embouti au marteau exposé par les exploitants.

La Suède avait envoyé les produits des usines d'Atvidaberg dont nous venons de décrire la méthode, la Norwége ceux des mines de Roros et de l'usine royale de Kongsberg, l'Italie les cuivres de la Société d'Ollomont.

L'exposition russe très-remarquable se composait des cuivres natifs des Khirghises de Sibérie, magnifiques échantillons envoyés par M. Popoff ; des produits des usines d'Ugow, dans le gouvernement de Perm ; de ceux des mines de Nijne-Taguil, appartenant à M. Demidoff ; enfin M. Paschkoff avait exposé des lingots provenant de l'usine de Bogajavlensk, dans le gouvernement d'Oufa.

On peut citer dans l'exposition des États-Unis les cuivres natifs du lac Supérieur et ceux de la Compagnie des fonderies de Cuba et de Baltimore.

La Bolivie avait envoyé des échantillons du cuivre natif des célèbres mines de Corocoro.

L'exposition anglaise était loin d'être en rapport avec l'importance de la production du cuivre dans ce pays. Les produits de MM. Bankart and Sons sont les seuls que nous ayons remarqués.

VII. — Le plomb. — Son extraction.

Après l'étain et le bismuth, le plomb est le plus fusible des métaux usuels ; sa liquéfaction a lieu à 335°, et sa densité atteint 11,44 environ. Il est extrêmement mou et très-peu tenace : un fil de 3 millimètres de diamètre se rompt sous une charge de 14 kilogrammes. Le plomb du commerce n'est jamais pur, il contient toujours du fer, du cuivre, de l'antimoine et de l'argent, quelquefois du zinc, du soufre et de l'arsenic. L'argent qu'il contient peut être avantageusement retiré au moyen de la coupellation, quand la proportion de ce dernier métal atteint les $\frac{3}{10000}$ de la masse ; au-dessous de cette teneur, le plomb prend le nom de *plomb pauvre*.

Les seuls minerais exploités sont les carbonates et les sulfures ; ce dernier, nommé *galène*, est de beaucoup le plus abondant et presque le seul qui soit soumis au traitement industriel. C'est un des corps les plus répandus dans les gîtes métallifères, et il n'est pas de pays qui n'en renferme des filons plus ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins riches. En France, on peut citer les mines de Poullaouen et Huelgoat, en Bretagne : le filon principal a 2 mètres de puissance et 1,500 mètres de longueur; la galène contient de 0,0003 à 0,0005 d'argent; celles de Pontgibaud, dans le Puy-de-Dôme, exploitées sur une assez grande échelle; les mines de Viallas (Lozère), dont la teneur en argent va à 0,0025; le filon de Pontpéan (Ille-et-Vilaine), qui mesure une longueur de 2,800 mètres, teneur 0,0006; enfin l'énorme filon de la Croix-aux-Mines, dont la puissance atteint 50 et même 80 mètres, et qui a été reconnu en longueur sur 13 kilomètres; son exploitation est abandonnée depuis longtemps et pourrait être reprise avantageusement.

On traite la galène par deux méthodes principales :

1° Méthode par précipitation. Elle est fondée sur la propriété qu'a le fer de s'emparer du soufre de la galène et de mettre le plomb en liberté. Elle est suivie quand on a des minerais pauvres et impurs accompagnés d'une gangue très-siliceuse.

L'appareil employé est un fourneau à réverbère ou à manche. On ajoute au minerai une quantité de menue ferraille proportionnée à sa teneur en soufre, et l'on obtient du plomb métallique ainsi que des mattes contenant des sous-sulfures qui renferment encore jusqu'à 10 p. 100 de plomb.

2° Méthode par réaction. Elle repose sur le principe suivant : quand on grille du sulfure de plomb au contact de l'air, il se produit de l'acide sulfureux, de l'oxyde de plomb, du sulfate de plomb, et, de plus, une portion de la galène reste inattaquée. En chauffant dans un four à réverbère un mélange en proportions convenables d'oxyde, de sulfure et de sulfate de plomb, la réaction de l'oxyde sur une partie du sulfure, et celle du sulfate sur l'autre partie de ce même sulfure, ont pour conséquence le dégagement d'une grande quantité d'acide sulfureux et la mise en liberté de la totalité du plomb métallique; c'est ce qu'on peut exprimer par la formule suivante :

$$2PbS + 2PbO + SO^3PbO = 5Pb + 3SO^2.$$

En pratique, il est impossible d'arriver à obtenir, au moyen du grillage, une proportion convenable de ces trois substances, et, de plus, les réactions ultérieures ne sont jamais complètes. Il en résulte la production de mattes plombeuses, composées de sulfures qu'on est obligé de soumettre à un second traitement.

Le grillage de la galène s'exécute le plus souvent au réverbère : on est plus maître de régler le feu que dans le grillage en tas, et, de plus, les deux opérations peuvent se faire l'une après l'autre dans le même four. Aussitôt que l'on s'aperçoit que le grillage est arrivé au point convenable, on ferme le four et on augmente rapidement le feu. La réaction a lieu et le plomb coule : c'est là la méthode suivie en Angleterre. Quand les minerais sont très-pauvres, on opère le grillage à part, et ce mélange est traité dans un four à manche où la température peut être amenée à un degré plus élevé. Il faut alors éviter une production trop considérable de sulfate, afin de diminuer la quantité des mattes, toujours difficile à réduire. Le spath-fluor est le fondant le plus employé. Dans la plupart des cas, à cause de la volatilisation facile du plomb, on place à la suite des fours des chambres de condensation ou des cheminées traînantes dans lesquelles on recueille de temps à autre les matières entraînées, quelquefois très-riches en plomb.

VIII. — Le four Rachette.

L'usine de Lautenthal (Ober-Hartz) exposait le modèle d'un four dont l'adop-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion relativement récente donne de très-bons résultats dans le traitement des galènes argentifères. Nous en donnons, figure 4, deux coupes longitudinales.

A est le gueulard par lequel se fait le chargement, B est un bassin d'avant-foyer portant une rainure pour faire écouler les scories. On coule le plomb toutes les demi-heures environ en perçant le trou de coulée bouché d'un tampon d'argile, et le métal tombe dans un bassin placé au bas du four. Un conduit d'air amène le vent aux tuyères, à circulation d'eau, dont le nombre est considérable. La sole du fourneau est composée d'une brasque d'argile et de charbon de bois; sa pente est double, de sorte que l'écoulement des scories et celui du plomb d'œuvre se font sur les deux petits côtés du fourneau.

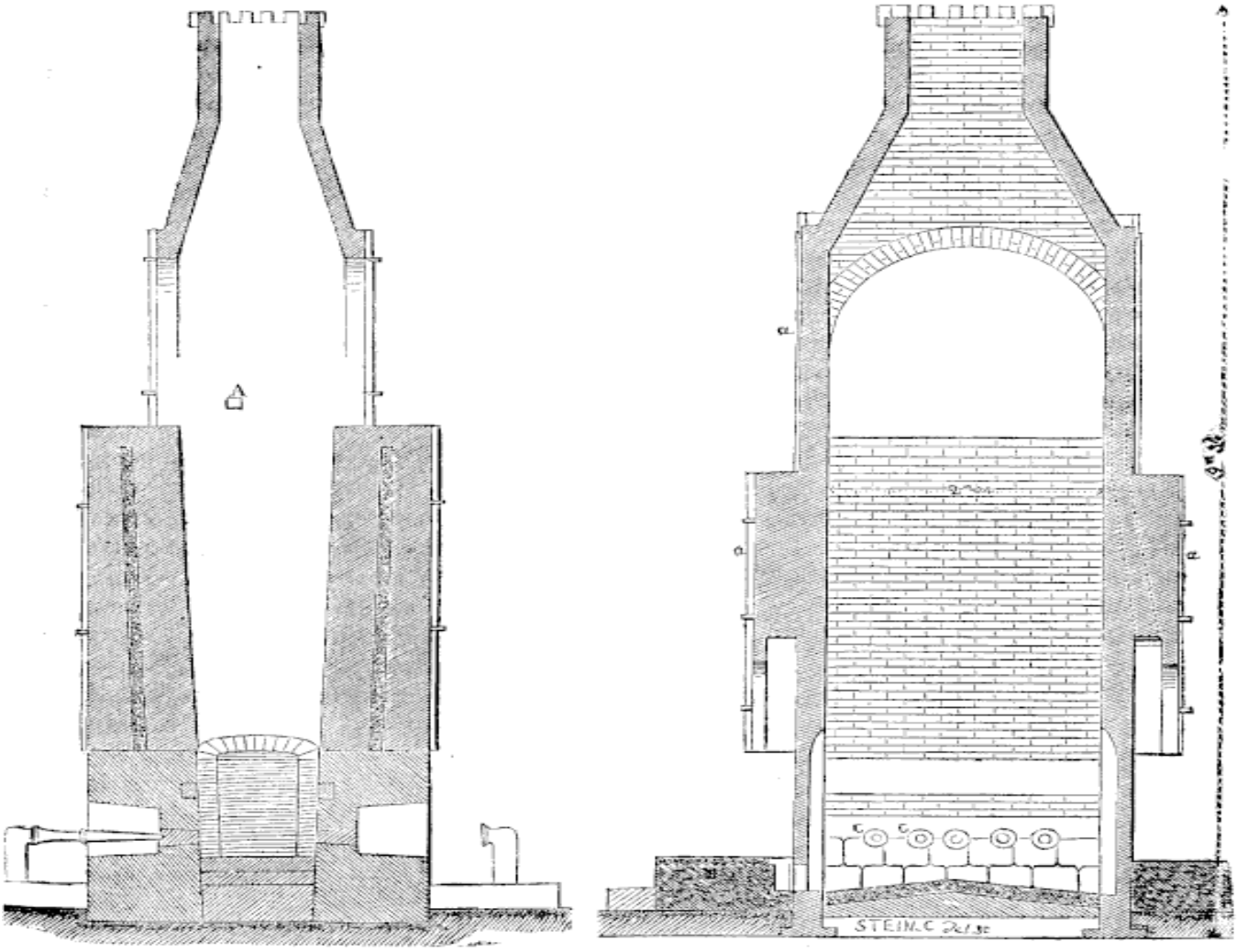


Fig. 4. — Four Rachette.

Le four Rachette peut être considéré comme une réunion de fourneaux à cuve, accolés les uns aux autres et disposés sur le même rang. La chaleur s'y accumule facilement en un point donné, à cause de la masse considérable de matières qu'il peut contenir et du grand nombre des tuyères. La perte du plomb par volatilisation, qui pourrait sembler devoir être la conséquence de cette élévation de la température, n'y est réellement pas à craindre parce que les vapeurs métalliques qui se produisent en effet viennent se condenser un peu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus haut au contact des matières froides nouvellement introduites au gueulard. La pression du vent y est très-faible et les charges sont amenées au fourneau au moyen de wagons contenant environ deux hectolitres et demi et roulant sur un plancher disposé au niveau du gueulard.

IX. — La coupellation et la méthode Pattinson.

Quelle que soit la méthode adoptée pour produire le plomb métallique, il renferme toujours un peu d'argent, et la quantité de ce métal est souvent assez considérable pour pouvoir en être avantageusement retirée.

La coupellation est le procédé le plus généralement suivi pour y arriver. Elle consiste à maintenir le plomb argentifère ou plomb d'œuvre au contact de l'air à une température suffisamment élevée pour en absorber l'oxygène et se transformer en protoxyde ou litharge. Les métaux oxydables sont entraînés avec la litharge, et à la fin de l'opération on trouve l'argent sensiblement pur.

L'appareil employé est un four à réverbère à sole circulaire muni d'une sorte de couvercle ou voûte mobile. Cette sole se fait au moyen d'un mélange fortement damé de calcaire en poudre et d'argile ; on charge à la fois 6 à 8 tonnes de plomb et l'on allume le feu. Quand le plomb est en fusion, il commence par se former des litharges impures désignées sous les noms d'*abzugs* et d'*abstrichs* qu'on enlève pour les mettre à part. On fait alors arriver par deux tuyères sur la surface du bain métallique une quantité d'air variant de 6 à 10 mètres cubes par minute sous une pression de 1 à 2 centimètres de mercure. La masse fondue laisse entre elle et la sole un espace où se réunit la litharge dès qu'elle se forme. On pratique pour son écoulement une rigole que l'on approfondit au fur et à mesure que, l'oxydation diminuant la quantité de plomb, le niveau du bain s'abaisse et se rapproche du fond de la sole.

Il arrive un instant où, la quantité du plomb resté dans l'argent étant très-peu considérable, la pellicule d'oxyde qui se forme devient très-mince et présente des couleurs irisées ; quand elle disparaît complétement, la surface de l'argent se découvre tout à coup et devient très-brillante. Ce phénomène qu'on a désigné sous le nom d'*éclair*, indique la fin de l'opération ; il est suivi d'une période de refroidissement ayant pour cause la cessation de l'action chimique de l'oxygène sur le plomb. On jette alors de l'eau sur le gâteau d'argent pour le solidifier et on le retire. Il n'est pas absolument pur et doit subir une nouvelle coupellation pour être débarrassé de 1/10 de plomb qu'il retient encore.

Quand le plomb n'est pas assez riche pour être coupellé directement, on peut l'enrichir au préalable par une méthode due à Pattinson. On place sur un fourneau à la suite les unes des autres une série de chaudières en fonte hémisphériques pouvant contenir chacune environ cinq tonnes de plomb. Quand la fusion du métal est complète, on retire le feu et on agite la masse métallique. Au moment où elle commence à se solidifier, elle se sépare en deux parties : le plomb pur cristallise peu à peu et s'isole, tandis que l'argent reste dans la partie demeurée liquide. On enlève donc ces cristaux dès qu'ils se forment, et on les place dans la chaudière voisine où on les refond pour les appauvrir de nouveau et ainsi de suite. La portion enrichie est aussi placée dans une autre série de chaudières et enrichie par une série d'opérations semblables, de telle sorte que, si l'on suppose le travail commencé au milieu de la série de chaudières, la première renfermera le plomb pauvre et la dernière le plomb enrichi à un degré suffisant pour qu'on puisse avantageusement procéder à la coupellation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

X. — Le plomb à l'exposition.

Parmi les exploitations françaises qui figuraient au palais du Champ-de-Mars on peut signaler la compagnie de Poullaouen et Huelgoat, l'usine de Viallas et les établissements de Pongibaud, dont les usines et les produits sont également remarquables. La Belgique avait envoyé les plombs de la société de Bleyberg et Montzem, l'Allemagne ceux de l'usine de Lautenthal, dont nous avons décrit les fours, ceux de MM. Herbst et Cie à Call Eifel, ceux des fonderies d'Eschweiler, d'Odenthal, de Niederfischbach, qui ne renferment plus que 8 grammes d'argent par tonne après avoir subi le pattinsonage.

Dans l'exposition anglaise on remarquait les échantillons envoyés par MM. Walker Parker et Cie et par les fonderies de Tudor à Hull.

Le Portugal avait exposé les produits des mines de Braca, usine Fernando ; l'Italie ceux de la Cie de Bottino.

XI. — Le zinc. — Son extraction. — Produits exposés.

Le zinc du commerce contient un nombre assez considérable de métaux étrangers, principalement du plomb, du fer et du cadmium. Le cadmium n'altère pas ses propriétés, le fer le rend cassant, le plomb ajoute au contraire à sa malléabilité et la distillation ne l'en débarrasse jamais complétement. Sa couleur est d'autant plus éclatante qu'il est plus pur : fondu, il pèse 6,801 ; aminé, sa densité va jusqu'à 7,20. Il est très-difficile de le travailler à la température ordinaire, mais de 100 à 150° il se laisse très-facilement laminer. Si on le chauffe plus fortement, sa ductilité disparaît, et à 200° il devient tellement cassant qu'on peut le réduire en poudre dans un mortier; il fond à 370° et se volatilise au rouge-blanc.

Les minerais de zinc sont le carbonate ou *calamine* et le sulfure ou *blende*. Le premier est le plus abondant et le plus anciennement exploité, il contient toujours du silicate de zinc et du fer. Les principaux gisements sont ceux de la haute Silésie et de la Vieille-Montagne, près d'Aix-la-Chapelle. En France, on en trouve à Montalet, près d'Uzès, et à Combecave, près de Figeac.

La blende, qu'on ne traite que depuis une époque beaucoup plus récente, est généralement associée à la galène. On la trouve dans le Cornwall, dans le nord du pays de Galles, en Suisse, dans le Tyrol, aux États-Unis. On exploite aussi dans le New-Jersey du zinc oxydé rouge.

Le traitement varie suivant les pays et constitue trois méthodes différentes adoptées en Silésie, en Belgique et en Angleterre.

A Stolberg on commence par griller la calamine pour en enlever l'eau et l'acide carbonique et pour la rendre friable, puis elle est cassée en morceaux de la grosseur d'une noix. Le grillage se fait dans un four à réverbère chauffé au moyen de la chaleur perdue des fours de réduction. La seconde opération a pour but de distiller le zinc. Elle s'exécute dans des fourneaux renfermant chacun vingt moufles d'une capacité d'environ 150 à 200 litres qu'on dispose des deux côtés du fourneau et qu'on perce de deux ouvertures. L'orifice supérieur sert à placer une allonge recourbée en terre communiquant avec un vase où l'on recueille le zinc distillé, l'ouverture inférieure sert à vider les moufles après l'opération.

Chaque four peut traiter 600 kilogrammes mélangés avec 200 kilogrammes d'escarbilles, la distillation dure 24 heures. Au bout de ce temps, on recueille

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

150 à 170 kilogrammes de zinc et on nettoie les moufles pour les recharger. La dépense en houille s'élève à 12 kilogrammes par kilogramme de zinc distillé. Ainsi obtenu, il est mélangé d'oxyde et de charbon et doit être fondu pour pouvoir être livré au commerce.

Aux usines de la Vieille-Montagne on se sert de fourneaux dans lesquels on chauffe des tuyaux inclinés en terre ayant environ un mètre de longueur sur 0,15 de diamètre. Ils communiquent à l'extérieur avec un tuyau en fonte servant d'allonge et de récipient au bout duquel on place un cône très-aigu en tôle. On charge dans le tuyau de terre un mélange à parties égales de charbon et de calamine préalablement grillée dans un fourneau à alandiers semblable à un four à chaux. Quand le zinc commence à distiller, on bouche l'ouverture des cônes en tôle et le métal s'accumule dans les récipients en fonte, d'où on le retire de temps en temps à l'aide d'un rable et d'une poche. Quand le zinc ne passe plus à la distillation, on nettoie les appareils pour les charger de nouveau.

Chaque four produit 300 kilogrammes de zinc par jour, et l'on emploie par tonne de métal obtenu sept tonnes de houille en y comprenant celle qui sert à la réduction.

Les usines anglaises à zinc sont concentrées dans les environs de Bristol et de Birmingham. Le minerai grillé et le charbon sont introduits dans des creusets disposés dans un fourneau circulaire muni d'un cône semblable à ceux qui surmontent les fourneaux à cémenter du Yorkshire. Le fond de chaque creuset est percé d'un trou qui reçoit un tuyau de fer allant déboucher à son extrémité inférieure dans un réservoir plein d'eau. On bouche l'extrémité supérieure du tube au moyen d'un tampon en bois qui, en se carbonisant, empêche les matières solides de le pénétrer, tout en permettant aux vapeurs de zinc de le traverser pour aller se condenser dans les récipients inférieurs. On emploie, en suivant cette méthode, 3 tonnes de minerai et 18 tonnes de houille pour obtenir une tonne de zinc distillé.

A côté des produits exposés par les usines de Silésie et par celles de la Vieille-Montagne, dont tout le monde connaît lar éputation, on pouvait remarquer les zincs envoyés par la Société des usines du New-Jersey et ceux de Pologne. Dans ce pays on peut signaler les établissements de Fanny dans le gouvernement de Rodow, dirigés par M. Hordliczka, et ceux de la Couronne, à Dabrowa, près Rendzin.

HECTOR DUFRENÉ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXII

MACHINES

SERVANT A LA

CONFECTION DES VÊTEMENTS

CLASSE 57. — Pl. 217, 218.

Par G. BARDIN, ingénieur civil

PRÉLIMINAIRES

L'étude des machines employées à la confection du vêtement peut se diviser en trois chapitres que nous traiterons successivement.

Ils prendront pour titres :

Matériel en usage dans la fabrication du chapeau de feutre ;

Machines employées dans la fabrication des chaussures ;

Enfin machines à coudre des ateliers de couture et machines spéciales cousant au fil poissé ou goudronné.

I. — La fabrication du feutre, bien que remontant à une époque déjà éloignée, était restée fort imparfaite jusqu'en ces derniers temps, malgré l'usage considérable que l'on faisait des chapeaux de feutre. Ce n'est guère que depuis douze à quinze ans que l'on a vu, en France, pour cette fabrication, l'introduction, dans les usines les plus importantes, de quelques machines réellement sérieuses produisant beaucoup et économiquement.

La transformation du matériel s'opère très-lentement et progressivement, c'est-à-dire à mesure que les besoins de produire vite deviennent de plus en plus urgents. Les nouvelles machines à bastir, point de départ de la fabrication mécanique, nécessitant l'emploi d'une machine à vapeur, occasionnent une dépense d'installation assez considérable pour tenir encore éloignés des progrès accomplis par la mécanique dans ces dernières années, bon nombre d'ouvriers et de petits fabricants.

A côté de cette machine qui se compose elle-même de plusieurs appareils : aspirateur, bastisseuse, porte-cône et bâche de trempe, nous trouvons deux autres outils rendant également de bons services, ce sont : les fouleuses de M. *Charles Mossant* de Bourg du Péage (Drôme) et la ponceuse de M. *Coq* d'Aix. Enfin nous aurons à examiner les intéressantes machines à repasser les chapeaux exposées par MM. *Coanet* de Nancy et *Mathias* et *Legat* de Paris.

Sauf une machine à dresser américaine, les sections étrangères n'ont rien exposé qui soit nouveau ou intéressant.

Dans le troisième paragraphe nous décrirons avec détails ces appareils qui se trouvent installés dans la classe 57 et qui fabriquent continuellement sous les yeux du public ; le second sera consacré à la préparation du poil.

II. — L'Exposition renferme, pour la fabrication des chaussures, des appareils qui permettent d'y apporter une rapidité d'exécution et une économie sérieuses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La maison *S. Dupuis et Cie*, pourvue depuis longtemps déjà d'un nombre considérable des machines inventées par M. Duméry, a exposé, dans un atelier qui fonctionne à l'Exposition avec beaucoup d'ordre et de régularité, un exemplaire de chacune de ces machines. Ce matériel spécial est remarquable au point de vue économique, car quatre machines des plus importantes ne nécessitent pas l'emploi d'hommes ayant des aptitudes spéciales, mais de femmes qui deviennent après un court apprentissage d'habiles ouvrières.

A l'exemple de cette maison, qui a pour ainsi dire créé la fabrication des chaussures vissées, on a vu surgir de nombreux ateliers remplaçant la couture à la main par le vissage, et de nouveaux inventeurs des machines à faire les vis et à visser trouver aussi un débouché pour leurs produits. Nous devons citer en première ligne la machine à visser de M. *Lemercier ;* viennent ensuite celles de MM. *Maugin et Cabourg*, qui sont également pratiques, mais qui toutes nécessitent des hommes pour leurs manœuvres. Nous devons également mentionner un appareil tout nouveau imaginé par M. *Touzet*, il est appelé apprêteur et est destiné à remplacer par un travail mécanique le bâtissage des tiges fait à la main jusqu'ici.

III. — Nous allons rappeler rapidement les phases diverses par lesquelles a passé la machine à coudre depuis son invention.

Les premiers essais faits en France industriellement sont dus à *Barthélemy Thimonier*, né à l'Arbresle (Rhône) en 1793. Il fut l'inventeur de la machine à un fil cousant au point de chaînette. La date du premier brevet *Thimonier* est du 17 juillet 1830. Un deuxième brevet fut pris par lui le 21 juillet 1845 pour perfectionnement d'une machine à un seul fil, point de chaînette.

Vient ensuite, mais seize ans seulement après l'invention française, le 10 septembre 1846, le brevet américain *Elias Howe*, pour machines à deux fils, aiguille et navette.

Tels sont les points de départ des perfectionnements ultérieurs apportés aux machines à coudre et qui ont permis de les approprier aux travaux les plus variés des ateliers de couture et de broderie.

L'inventeur *Thimonier*, constamment occupé des améliorations à apporter à sa machine, ne put profiter de son œuvre ; il mourut pauvre en 1857, à Amplepuis, village du département du Rhône, où il exerçait la profession de tailleur d'habits, au moment où il fabriqua la machine à coudre sur laquelle il fit ses premiers essais.

La fortune, au contraire, tourna au profit de l'inventeur américain de la machine à navette, et le nom d'*Elias Howe* a atteint aujourd'hui l'apogée de la gloire réservée à ceux qui profitent de leurs inventions : celle de la machine à coudre sera l'une des plus importantes de notre siècle. *Elias Howe* n'a pas joui longtemps de la fortune considérable et de la gloire qu'il avait acquises après de longues années de luttes, car il mourut en Amérique au retour de son voyage à l'Exposition de 1867 où la croix de la Légion d'honneur venait de lui être décernée.

En 1851, les Américains *Grover* et *Baker* produisirent la machine au double point de chaînette avec deux fils et deux aiguilles.

Vers la même époque MM. *Wheeler et Wilson* firent une machine à coudre à deux fils avec une aiguille et une navette en disque circulaire.

Tels sont, avec les machines Thimonier et Elias Howe, les quatre types autour desquels se meuvent les fabricants de machines en étudiant des perfectionnements de détails et des applications nouvelles. Les nombreux brevets, pris depuis quinze années, n'ont rapport qu'à des modifications plus ou moins heureuses de ces types et à la recherche des formes qui se prêtent le mieux aux diverses applications dont les machines à coudre sont susceptibles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE PREMIER

CHAPELLERIE DE FEUTRE.

I. — Matières premières employées dans la chapellerie.

Les peaux d'animaux recouvertes de leurs poils ou laines sont employées pour faire des fourrures ou vêtements ; elles sont l'objet d'une préparation spéciale qui est du ressort du pelletier. Les peaux étant coupées, nous ne nous occuperons que des *poils* et *laines* qui en proviennent et qui sont en usage dans la chapellerie (1).

Le poil, la laine et le duvet des animaux sont de simples et minces filaments provenant des pores de la peau; ils sont très-souples, flexibles, élastiques, tenaces et diffèrent entièrement des laines végétales et duvets, tels que le coton, etc., qui ne possèdent aucune de ces qualités.

Bien que l'étude des matières premières de la chapellerie ne semble pas au premier abord fort intéressante, nous pensons néanmoins que les personnes du métier trouveront un intérêt à la lecture de la description minutieuse qui va suivre du poil et de la laine et de leurs propriétés, relativement au feutrage.

Le poil et la laine ont par leur nature quelques relations et des propriétés communes, mais ils diffèrent sensiblement en apparence ; ainsi le poil est droit et roide, tandis que la laine est remarquable par sa finesse et sa souplesse. — Ils forment l'un et l'autre un appendice de la peau des animaux qui les produisent, ils croissent dans la longueur de la racine, et non par le sommet comme les végétaux; la racine, en se prolongeant, manifeste son extension à l'extérieur ; chaque brin, de quelque qualité qu'il soit, se compose d'une simple et mince fibre sans nœud d'aucune espèce, mais elle est tubulaire et remplie d'une huile grasse d'où dérive sa couleur.

Les analyses chimiques ont fait connaître la composition du poil, qui contient en grande quantité de la gélatine, une huile blanche concrète et une huile gris-vert formant à peu près le quart de son poids, puis une petite quantité d'oxyde de manganèse, du fer, du phosphate et du carbonate de chaux en petite quantité, enfin du soufre. — Le poil et la laine se dissolvent partiellement dans l'eau portée à la température de 115°, ils sont également solubles dans l'alcali.

Il est intéressant de remarquer que, de tous les produits animaux, le poil est le moins sujet à changer spontanément de nature et à se décomposer ; on en trouve une preuve manifeste dans les momies péruviennes, mexicaines et brésiliennes, qui sont encore dans un état parfait de conservation, et dont la chevelure est toujours sujette aux variations hygrométriques, quoiqu'elles datent de deux mille cinq cents à trois mille ans.

Nous avons dit précédemment que le poil était tubulaire, sa section est circulaire ou ovale; une section circulaire dénote un poil long, mou et fin provenant d'un animal du Nord, tandis que, si sa section est ovale, il sera crispé et frisé et aura une origine tropicale; on observe d'ailleurs un changement graduel dans la section du poil des animaux en montant vers l'équateur à la plus haute latitude.

(1) Quelques parties de ce paragraphe sont extraites d'un ouvrage américain intitulé : *Chapellerie et Feutre*, par J. Thomson, 1868.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant longtemps on a désiré pouvoir distinguer les différentes qualités des poils fins pour chapellerie, mais on n'a trouvé aucun moyen supérieur au jugement de l'œil humain. L'épaisseur des plus fines qualités de poils n'a jamais pu être mesurée; cependant on est certain que le cheveu humain varie entre la centième et la deux cent quarantième partie d'un centimètre, tandis que la fibre de la laine la plus grossière est environ la deux centième partie et la plus fine la six centième partie d'un centimètre. Il est fort douteux que l'on puisse arriver par un moyen artificiel quelconque à accroître le poil soit en longueur, en qualité ou en densité.

Le poil et la laine présentent encore quelques particularités ; l'une des plus importantes est certainement la propriété qu'ils possèdent de se rétrécir et de se feutrer, propriété qui a été longtemps un mystère, bien que d'elle dépendent tout l'art de la chapellerie et de la fabrication du feutre ainsi que le foulage des draps, le rétrécissage des flanelles et de tous autres objets formés de poils ou laines.

En examinant un poil avec un très-puissant microscope, on remarque qu'une enveloppe, l'entourant entièrement apparaît, sous laf orme de très-petites écailles ou lames minces, pointues et entièrement semblables aux écailles d'un poisson, ce qui explique les faits suivants, d'ailleurs faciles à vérifier : lorsque le poil est tenu par la pointe ou le sommet, on le coupe facilement avec le tranchant d'un rasoir, tandis que, quand il est tenu par la racine, la lame glisse dessus et ne le coupe qu'avec difficulté. Un poil tenu par la racine et passé entre le pouce et l'index est senti tout à fait lisse ; mais quand il est tenu par le sommet, on le sent rugueux des pointes dentelées des écailles.

On a pu compter, quoiqu'avec difficulté, les écailles qui couvrent les poils et les laines ; sur un brin de laine mérinos on a trouvé 1000 écailles semblables dans l'espace d'un centimètre ; sur les laines saxonnes il y en avait 1100, sur d'autres échantillons 740 ; enfin les moindres en avaient 400 par centimètre.

La cause du feutrage et du rétrécissage de la laine et du poil est due à la présence de ces écailles. On peut en observer ainsi l'effet : si l'on prend une poignée de laine ou de poils humides, qu'on les serre dans la main, chaque fibre se crispe, se tord et s'assemble à une autre ; à chaque mouvement ou pression elle se déplace pour s'accrocher de nouveau à tout ce qui l'entoure, de sorte qu'après un instant l'ensemble des poils ou laines a formé un assemblage qui constitue un tissu tel que, si on le coupe, l'enlacement devient très-visible. On pourrait comparer chaque poil à un ver de terre qui s'agite, se tord et cherche à entourer tout ce qui est près de lui, et par extension l'opération du feutrage serait comparable à une collection de vers vivants se tordant en s'enlaçant entre eux dans un espace fort restreint, de manière à former un ensemble dont chacun d'eux dépendrait.

Les laines végétales, le coton, n'ont pas d'écailles sur leurs filaments et ne se rétrécissent pas dans l'action du lavage, comme le fait la laine ; le coton ne peut pas se feutrer, car il est lisse dans ses deux sens et ses fibres sont triangulaires et pleines.

Les bas tricotés avec de la laine pour les pêcheurs de baleines des contrées du Nord sont très-grands, mais le feutrage opéré dans les moulins à foulons donne des produits de la grandeur nécessaire et d'une dureté telle qu'on ne peut les entamer qu'avec un couteau.

Il en est de même des fez, bonnets grecs ou turcs, qui sont tricotés d'abord, puis feutrés ; ils se fabriquent depuis fort longtemps à Orléans, à Paris, à Chatou, etc., et la France en exporte annuellement une quantité considérable dans les pays du Levant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le feutre peut être fait de plusieurs espèces de poils d'animaux, pourvu qu'ils se frisent et se bouclent ; s'ils sont droits comme des soies de porcs, ils ne peuvent pas se feutrer.

Il est admis d'une manière générale par les chapeliers que toutes les matières employées doivent être coupées et non arrachées, parce que le poil arraché porte toujours avec lui sa racine sous forme de bulbe qui n'est pas propre au feutrage. La laine, après avoir été cardée, est ordinairement pressée et coupée en plus courte longueur pour en faciliter la prise. Les plus fines matières viennent des animaux qui habitent les climats les plus froids, et la saison de l'année influe sur leur qualité ; les peaux d'été sont les meilleures pour quelques espèces seulement, mais. pour toutes les autres, elles sont préférables si elles sont récoltées en hiver. — Les chapeliers ne doivent pas ignorer non plus que les poils qui ont été conservés une ou deux années produisent un meilleur travail et un feutre plus solide que s'ils proviennent d'animaux tués depuis peu.

Outre l'eau chaude employée pour le feutrage, cette opération peut être facilitée par l'emploi du savon ou de l'acide sulfurique qui pénétre mieux dans les lames ou écailles des poils pour en dissoudre l'huile : les écailles prennent ainsi mieux l'une à l'autre. Les laines bien dégraissées se feutrent plus facilement aussi.

Les Turcs se servent, pour couvrir leurs tentes, de feutre de laine foulé avec les pieds. Mais on emploie depuis quelques années de nouveaux moyens mécaniques pour la fabrication des feutres pour vêtemetns, vestes, pantalons, jambières, souliers, guêtres, pantoufles, mitaines, bonnets, couvertures de chaudières et cylindres à vapeur, carpettes et tapis, coussins de polissage pour joailliers et marbriers, couvertures pour toitures de maisons, cylindres d'impressions, etc, etc.,

Les différentes matières les plus en usage dans la fabrication du feutre sont le *poil de castor*, de *rat musqué*, de *rat gondin*, de *lapin*, de *lièvre*, de *veau marin*, de *chameau* et de *chèvre*... Les *laines* de Saxe et d'Espagne sont les plus renommées.

On peut ainsi classer les diverses qualités de poils selon l'importance de l'emploi de chacune d'elles (1).

Poils de lapin domestique	2,500,000	kilog.
— — de garenne	700,000	—
— de lièvre	300,000	—
— de castor	3,000	—
— de rat musqué		
— de rat gondin		
— de vigogne	Mémoire.	
— de chameau et chevreau		

Les *lapins domestiques* donnent lieu en France à une production de 70 à 80 millions de peaux ; en Belgique elle est de 12 à 15 millions ; plus faible en Angleterre, elle est presque nulle en Allemagne, en Pologne et en Hongrie, où les peaux sont absorbées pour les fourrures.

Le *lapin de garenne* produit en France 4 à 5 millions de peaux, mais la production diminue sensiblement depuis quelques années ; en Angleterre, elle est plus considérable et atteint 25 à 35 millions de peaux.

Les peaux de lièvres se récoltent dans divers pays ; la Russie, la Suède, la Norvége et l'Allemagne en fournissent environ 5 millions, dont 4 millions sont cou-

(1) Ces chiffres sont extraits d'une notice due à M. Othon, de Clermont.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pées en Allemagne et 1 million en France et en Belgique ; la France et l'Angleterre produisent chacune environ 2,000,000 de peaux de lièvre qui donnent 80,000 kilogrammes de poils ; l'Espagne, le Portugal, la Belgique et la Hollande n'en produisent que de très-petites quantités.

Les *poils de castor, de rat musqué et de rat gondin*, dont l'emploi va en diminuant, ne donnent pas lieu à une consommation de plus de 3000 kilogrammes, les peaux de castor et de rat musqué viennent de l'Amérique du Nord et du Canada, celles du rat gondin de l'Amérique du Sud, des Républiques Argentines, de l'Uruguay et de la Plata. Le haut prix des poils fins résulte de la destruction des animaua qui les produisent, il est la cause de l'emploi de matières de qualité inférieure. Le coton, qui est d'une nature souple et flexible, ainsi que certains autres produits végétaux peuvent être mélangés avec des poils, mais seulement pour produire des feutres non élastiques. Autrefois, les peaux de castor étaient achetées par la Compagnie de la baie d'Hudson au prix de 14 peaux pour un fusil, — 7 pour un pistolet, — 2 pour une chemise ou une paire de bas, — 1 pour un peigne ou 12 aiguilles, etc., prix inférieurs à la centième partie de leur valeur réelle. Les peaux des autres animaux étaient taxées proportionnellement.

Enfin les *poils de chameau* et de *chèvre* viennent de l'Égypte, de la Syrie et de la Turquie ; ils ne donnent que des produits très-grossiers.

On rapporte, dans le *Bulletin de la Société scientifique américaine de New-York*, une méthode simple et commode de juger de la qualité de la laine ; elle consiste à prendre une mèche et à l'étendre sur une règle divisée ; si l'on peut compter 12 à 14 spirales ou plis par centimètre, elle égale en qualité les plus belles laines de Saxe ; plus le nombre de plis diminue, moins la laine a de qualité ; les laines inférieures n'ont pas plus de 3 à 4 plis par centimètre.

La consommation des poils est très-considérable en Europe et en Amérique. Les États du nord de l'Amérique ont fait de grands progrès dans la fabrication du chapeau de feutre, aussi emploient-ils une grande partie des poils coupés en Europe ; la France leur a fourni certaines années 40 pour 100 de sa production ; l'Allemagne leur fournit 75 pour 100 de sa production ; l'Angleterre et la Belgique leur en expédient aussi beaucoup.

La consommation en France est très-importante, car la perfection de son chapeau de feutre lui assure une vente considérable chez elle et pour l'exportation.

Enfin les plus grandes consommations se font en Allemagne, en Italie, en Belgique, en Espagne, en Portugal, au Brésil, au Mexique et dans quelques-unes des Républiques américaines.

II. — Préparation du poil.

La préparation du poil employé dans la fabrication des chapeaux de feutre n'est pas sans intérêt ; aussi, avant de parler des machines exposées dans la classe 57, nous décrirons cette préparation qui, bien que ne se faisant pas ordinairement dans les manufactures de chapellerie, n'en est pas moins intéressante.

Les poils marins venant du castor, du rat gondin, de la loutre et du rat musqué valent de 100 francs à 300 francs le kilogramme, et servent à faire les plus beaux feutres pour chapeaux souples ; on emploie généralement ces qualités supérieures mélangées avec des poils français, surtout avec le garenne et le lièvre. Les autres poils employés dans la fabrication courante et donnant diverses

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qualités sont ceux de lièvre, de lapin de garenne, de lapin domestique et de chameau.

Les poils sont préparés dans des usines appelées *couperies de poils*, qui, depuis 1845, et notamment depuis 1847, époque à laquelle les droits prohibitifs sur la sortie des poils furent levés, ont pris un développement considérable en France. Nous allons citer quelques chiffres qui en feront connaître l'importance.

En 1847, il s'est vendu à Paris 2 millions et demi de peaux, qui ont donné environ 720,000 kilogrammes de poils. En 1864 il a été exporté..... 1,067,000 kil. de poils pour une valeur d'environ 14 millions de francs représentant un nombre de 3,550,000 peaux.

La même année il a été en outre exporté des chapeaux de feutre pour une valeur qui représente en poils environ la quantité de 147,100
Et en France la consommation peut être évaluée à environ 11,000,000, de chapeaux, et en poils à..... 1,100,000

TOTAL..... 2,314,100 kil.

D'où il convient de diminuer la quantité de poils importés..... 219,574

RESTE..... 2,094,526 kil.

Cette quantité de 2,094,526 kilogrammes de poils représente la récolte en France pour l'année 1864, elle ne comprend pas moins de 71,100,000 peaux.

Il existe dans Paris environ cinquante couperies de peaux, dont une quinzaine sont largement organisées avec machines à vapeur ; il y a en outre en province un grand nombre de petits établissements.

Tout le monde sait dans quel état la peau de lapin passe des mains de la ménagère dans celles du marchand ; elle arrive ainsi dans l'usine du négociant qui, pour en extraire le poil et le rendre propre à la fabrication du feutre, lui fait subir les opérations suivantes :

Le mouillage ;
Le fendage ;
L'arrachage ;
La sécrétion et le séchage en étuves ;
Le brossage ;
La coupe ;
Le choix des qualités ;
Le soufflage.

MOUILLAGE, FENDAGE, ARRACHAGE. — La peau sèche est d'abord humectée pour l'assouplir, puis passée dans les deux fourches en fer d'un appareil tout semblable à celui dont se servent les gantiers pour ouvrir les doigts de gants; la peau s'écarte et on la fend en long à l'endroit du ventre.

Les peaux ouvertes passent ensuite dans un atelier spécial où se fait l'arrachage qui consiste à enlever le jarre ou gros poil.

SÉCRÉTION. — La sécrétion consiste à brosser fortement les peaux du côté du poil avec une brosse de chiendent imprégnée d'un liquide composé d'acide sulfurique étendu d'eau et de mercure ; ce liquide a la propriété de rendre le poil propre à être feutré, mais il a l'inconvénient d'agir d'une manière désastreuse sur la santé des ouvriers chargés de faire ce travail : en quelques années ces malheureux sont atteints mortellement des maladies qu'occasionne le mercure sur l'économie animale.

BROSSAGE. — Après la sécrétion et le séchage des peaux en étuves vient le brossage ou carreletage. Le brossage se fait à la main ou mécaniquement et consiste à ramener tous les poils dans le même sens afin de faciliter la coupe. Ce travail peut s'exécuter mécaniquement en faisant passer entre deux rouleaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

garnis de laine, tournant doucement, la peau dont l'extrémité se prend ensuite entre un cylindre à mouvement lent et une brosse en chiendent placée au-dessus, qui tourne rapidement, lisse le poil et le nettoie ; pour l'exécution de ces diverses opérations on maintient toujours les peaux humides de manière à faciliter leur aplatissement le plus possible afin de préparer la coupe du poil.

Sécrétion-mécanique. — Bien qu'il ne soit pas encore entré dans la pratique industrielle, nous devons néanmoins signaler un appareil nouveau (*fig.* 1) dont M. *Maumey*, négociant en poils, à Paris, est l'inventeur et qui est destiné à faire mécaniquement les deux opérations du brossage au nitrate de mercure et du carreletage. Nous verrions avec plaisir se généraliser l'emploi de cette machine qui évite à de malheureux ouvriers un travail auquel leur santé ne saurait résister.

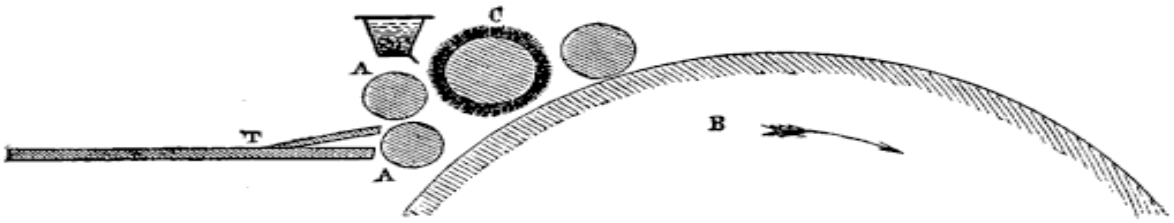


Fig. 1.

La machine se compose d'une table T sur laquelle on appuie la peau pour la faire prendre entre les deux cylindres garnis de feutre AA ; au-dessus est la caisse au liquide qui passe par de petits trous et se répand sur le poil, la peau est ensuite entraînée par un tambour B pendant que la brosse C, tournant rapidement, imprègne tous les poils du liquide mercuriel ; cette machine réalise une économie considérable sur la sécrétion faite manuellement.

Coupage. — Le coupage a pour but de séparer le poil de la peau ; la machine destinée à ce travail l'accomplit dans les meilleures conditions : elle détache le poil en coupant la peau par petites largeurs de 1/2 millimètre environ, sans toucher au poil que l'on recueille sur une plaque de métal exactement comme si la peau existait toujours.

Cette machine se compose de deux bâtis plats distants de 0^{m},60 environ portant deux petits cylindres destinés à l'entraînement de la peau, un couteau fixe et un couteau mobile autour d'un axe ou mieux un cylindre portant des lames prennent la peau et la coupent par petites largeurs. Pour que la peau soit enlevée entièrement, il suffit que la vitesse du mouvement des lames mobiles soit proportionnée à celle des cylindres entraîneurs. Une pièce plate, arrondie au-dessous, oblige la peau, lorsqu'elle a passé entre les cylindres, à s'infléchir et à se présenter aux couteaux.

Choix des qualités. — Le choix des différentes qualités de poils contenus dans une même peau est fait ordinairement par des femmes ; nous venons de dire qu'après la coupe on recueillait le poil sur des plaques en zinc et qu'il s'y trouvait placé exactement comme lorsqu'il était encore fixé sur la peau : c'est sur ces mêmes plaques que se fait le triage en séparant l'une de l'autre, à l'aide de la main, les trois parties correspondant aux trois différentes qualités, c'est-à-dire le poil du dos qui forme la première qualité, celui des côtés qui forme la deuxième, enfin celui du ventre qui donne la qualité inférieure. Ces trois qualités de poil se trouvent à peu près en quantité égale dans chaque peau, quelle qu'en soit la provenance.

Ainsi trié, le poil brut vaut, en moyenne, 20 francs le kilog. pour la première qualité, 15 francs pour la deuxième et 10 francs pour la troisième.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La production moyenne des peaux de garenne est de 2 kilos pour cent peaux ; pour les lapins domestiques les cent peaux produisent 4 kilos qui donnent 1/3 environ de chacune des trois qualités précédentes.

La main-d'œuvre des opérations décrites jusqu'ici, depuis le mouillage des peaux jusqu'au triage du poil, et y compris le triage, vaut de 8 à 10 francs par cent peaux.

Soufflage du poil. — La dernière opération qui a trait à la préparation du poil et qui se fait tantôt par le négociant en poils, mais plus souvent dans l'usine du chapelier, est le soufflage, qui a pour but de nettoyer et d'ouvrir le poil. On fait, pour cela, usage d'une machine, dite souffleuse, qui n'a pu, à cause de ses grandes dimensions, trouver place à l'Exposition. Nous la décrirons cependant, car elle rend d'excellents services aux chapeliers et peut, en outre, souffler et éjarrer le poil de chameau et même la laine sans que celle-ci soit cardée préalablement. Les organes consistent à lancer avec une grande vitesse, dans un conduit, le poil qui s'ouvre et se débarrasse de la poussière et du jarre qu'il contient et va tomber, sous forme de flocons, dans une chambre où on le recueille.

La souffleuse (*pl.* 217, *fig.* 6) se compose de trois parties principales qui sont : le mouvement, le conduit et la chambre.

Le mouvement est composé d'un arbre A qui reçoit ordinairement sa vitesse de l'arbre de l'usine et la transmet à un deuxième arbre intermédiaire B, puis à un troisième C destiné à ralentir la vitesse. Ce dernier communique ensuite le mouvement à un rouleau D qui dans sa rotation entraîne la toile sans fin ; le rouleau F facilite le mouvement de la toile et sert aussi de tendeur à l'aide de deux vis V placées de chaque côté.

Sur la toile sans fin se place le poil qui est entraîné et vient passer entre les deux rouleaux *rr* cannelés, tournant en sens inverse et recevant leur mouvement d'engrenages fixés à l'extrémité de leurs axes ; à la sortie des rouleaux le poil est pris par les ailes d'un batteur E qui tourne à raison de 3000 tours par minute et reçoit son mouvement de l'arbre A ; il est ainsi lancé très-vivement dans le conduit horizontal, s'élève par le conduit vertical L situé à l'extrémité de la machine, c'est-à-dire à 10, 15 ou 20 mètres des rouleaux, revient sur lui-même dans la chambre et tombe sur le fond, sous forme de flocons, à une distance de l'extrémité inversement proportionnelle à sa densité ; et, comme la qualité du poil est en proportion inverse de son poids, il en résulte, qu'en le ramassant avec précaution dans la chambre de la souffleuse, on obtient diverses qualités.

Pour avoir du poil convenablement soufflé, il faut répéter la même opération cinq ou six fois, en ayant soin, avant de le faire passer pour la dernière fois, d'étendre une toile cirée au fond du conduit, afin de ne pas entraîner avec le poil fin le gros poil et le jarre qui s'arrêtent en quantité assez considérable.

L'arbre B commande un arbre auxiliaire H qui lui-même fait mouvoir un appareil désobturateur G destiné à laisser constamment libres les grillages placés au-dessus et par lesquels passe une assez grande quantité d'air. Sans cet appareil, le poil viendrait se poser sur les grillages, empêcherait l'air et la poussière de sortir et l'opération du soufflage réussirait beaucoup moins complétement.

Le soufflage du poil ordinaire coûte, comme façon, 1 franc le kilog. et perd en poids de 10 à 25 p. 100 suivant sa qualité ; ainsi la première qualité de garenne ne perd que 10 p. 100 environ, et la dernière qualité de poil de lapin domestique perd 25 p. 100.

Bien que la souffleuse permette d'obtenir très-facilement différentes qualités de poils, ainsi que nous l'avons expliqué, il arrive souvent dans la fabrication que l'on ne veuille en avoir qu'une seule, mais il est nécessaire de l'obtenir uniforme autant que possible ; pour cela on pratique une ouverture, indiqué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en pointillés, au milieu de la longueur de la souffleuse, on établit une séparation entre les deux parties en S, le poil se répand dans la partie antérieure de la chambre et se mélange convenablement.

Deux mots encore sur les mélanges : on peut faire des chapeaux de feutre de diverses couleurs, soit en teignant le poil, soit en teignant le chapeau après le foulage. Dans le premier cas qui, seul, nous occupe ici, il est toujours nécessaire de passer le poil à la souffleuse, après l'avoir teint, afin de l'ouvrir.

Nous avons rencontré peu de maisons construisant les souffleuses ; la plupart de celles que nous avons vues dans diverses fabriques sortent des ateliers de M. *Coq*, d'Aix (Bouches-du-Rhône) qui construit spécialement les machines de chapellerie et qui a installé les divers appareils fonctionnant à l'Exposition.

Nous terminerons ici la description rapide que nous avons dû faire des diverses opérations indispensables à la préparation du poil pour le rendre propre à la fabrication du feutre. Nous continuerons par l'étude des appareils spéciaux employés dans la manufacture du chapeau de feutre.

III. — Fabrication du feutre.

Nous avons indiqué dans les paragraphes précédents les diverses matières avec lesquelles se font les feutres ; celui-ci contiendra la description des appareils en usage dans la chapellerie ; ce sujet sera traité d'une manière générale, puisque la fabrication ne présente aucun intérêt particulier quant aux différentes sortes de matières employées.

Nous ne referons pas ici l'histoire de la chapellerie de feutre qui a été si bien traitée par M. Rouget de Lisle dans le V^e^ volume page 402 des *Études sur l'Exposition*.

La première époque certaine à laquelle le métier de chapelier a pris quelque importance a été à Nuremberg en 1360, en France en 1380, en Bavière en 1401, à Londres en 1501 et, en Amérique, il avait déjà acquis une certaine importance en 1732.

C'est à partir de 1440 que le chapeau de feutre fut employé en France pour les voyages et qu'il se propagea rapidement dans les autres contrées. — Antérieurement à ces dates et dès le siècle d'Homère on constate l'emploi des coiffures de feutre de laine, mais il ne nous est parvenu aucune donnée sur leur mode de fabrication.

La mode a aussi agi sur les chapeaux de feutre qui ont été faits de toutes formes, de toutes couleurs et ornés des décorations les plus variées, plumes, joyaux, gances de soie, rosettes, bandes et gances d'or et d'argent, etc.

Une seule exception a eu lieu : l'élégant chapeau souple espagnol est de tout temps resté le même, quand, dans les autres nations civilisées, la forme a subi tant de modifications dans lesquelles le confortable a souvent donné place à la fantaisie et à la mode.

Nous parlerons d'abord des appareils inventés ou perfectionnés par M. *Coq*, mécanicien à Aix (Bouches-du-Rhône) et qu'il a exposés dans la classe 57.

La fabrication des chapeaux est faite par les soins de M. *Haas*, fabricant à Paris et à Aix.

Les diverses opérations par lesquelles le poil, pris dans l'état où nous l'avons laissé, passe pour devenir un chapeau, sont les suivantes :

I. — Le bastissage.
II. — Le simoussage.
III. — Le foulage.
IV. — Le dressage de foule.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V. — Le ponçage.
VI. — Le dressage et repassage.
VII. — Enfin le garnissage.

I. Bastissage. — La figure 2 ci-contre représente les machines pour faire les bastissages ; elles se composent d'une bastisseuse proprement dite A renfermant une table mobile et un appareil d'arçonnage ; d'un conduit du poil B et d'un porte-cône C sur lequel est posé un cône en cuivre percé de petits trous de 0m,001 environ de diamètre. On peut aussi remplacer le cône en cuivre par un cône en toile métallique galvanisée.

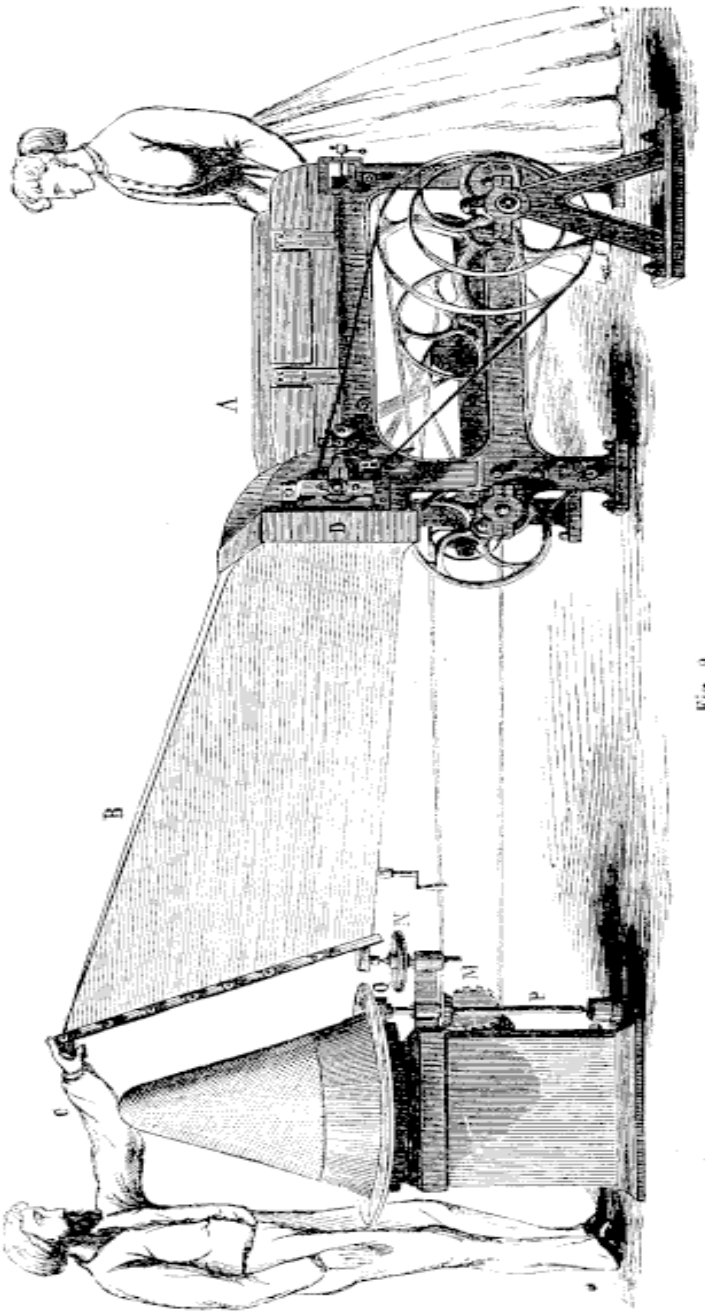


Fig. 2.

Le poil placé par une ouvrière sur la table mobile en mince épaisseur est pris entre deux cylindres cannelés, puis par un cylindre à brosse qui le projette au loin dans le conduit. Un aspirateur, indépendant de la machine, mais communiquant au porte-cône par un conduit, fait le vide sous le cône C, aspire l'air extérieur par les trous, et le poil ainsi attiré vient se poser sur ce cône avec une régularité d'autant plus grande qu'il a été bien soufflé, qu'il n'est pas humide et que l'aspirateur fonctionne bien.

La bastisseuse telle qu'elle vient d'être décrite se compose (*pl.* 217, *fig.* 2) de deux bâtis plats écartés de 0m,70 environ entre lesquels sont fixés les organes du mouvement dont la gravure ci-dessus montre l'ensemble. Autour des deux rouleaux en bois R et R' tourne la toile sans fin qui reçoit le poil, l'amène entre les rouleaux *r*, *r*, *r*, *r*, portant des cannelures et dont les axes se meuvent dans des coussinets fixés au bâti, le rouleau B' (*fig.* 2) communique son mouvement aux autres au moyen de petits engrenages montés sur leurs axes du côté opposé. En D est un cylindre en bois qui porte quatre rangs de crins sous forme de brosse, il tourne à une vitesse de 2500 tours par minute prend le poil sortant des rouleaux *r*, *r*, *r*, et le projette vigoureusement dans le conduit B.

Le rouleau en bois R est rappelé par deux vis V afin de tendre la toile sans fin.

Le conduit du poil est un appareil très-simple formé d'un bâti en fer, de deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faces, dessus et dessous, en bois et de deux côtés en zinc, il s'emboîte dans la bastisseuse par son extrémité E, F (*fig.* 2) qui forme un rectangle (*pl.* 217, *fig.* 1), l'autre extrémité étant de forme allongée et presque fermée, enfin son dessous est une surface plane et ses deux côtés des surfaces gauches. A l'intérieur et près de son extrémité en L (*fig.* 4 et 5) est une languette que l'on monte et que l'on baisse à volonté, selon que l'on veut couvrir le cône plus ou moins bas, à cet effet, elle est fixée en son milieu à une vis qui se meut dans un écrou, on peut, par conséquent, en tournant la manivelle, monter ou descendre la languette qui règle ainsi la hauteur du conduit.

Les deux côtés du devant (*fig.* 5) sont armés de vis traversant la barre de fer MNO formant écrou ; le bout de la vis, étant épaulé et entrant par une échancrure dans la bordure, permet de régler l'ouverture des diverses parties de l'appareil et d'y laisser passer plus ou moins de poil suivant les besoins.

On remarque encore en N, sur la gravure, une petite roue fixée sur un arbre à vis destiné à monter ou descendre par un mouvement doux le conduit du poil.

Enfin le porte-cône est une boîte carrée creuse (*fig.* 2) C, qui communique par un conduit placé sous le sol avec un aspirateur puissant. Une oreille en fonte porte un arbre et une poulie avec un engrenage d'angle en M donnant le mouvement à l'arbre vertical P, qui porte à son extrémité supérieure un pignon droit Q, à l'aide duquel il communique au cône, par une couronne dentée fixée au pourtour du plateau, un mouvement lent et régulier ; on comprend que le plateau est monté sur pivot et tourne dans un collier ; c'est sur ce plateau que se pose le cône C qui se voit sur la gravure.

Avec le cône, le chapelier doit avoir quatre ou cinq bagues ou couronnes de rechange afin de pouvoir bastir plus ou moins grand suivant la qualité de la matière et la dimension des produits que l'on veut obtenir. Comme ustensiles accessoires à la bastisseuse, il faut deux cônes et une cloche.

L'aspirateur dont nous avons déjà dit un mot joue un grand rôle dans la fabrication des bastissages : il est destiné à aspirer l'air sous le cône, d'où il résulte que le poil lancé hors du conduit est attiré sur le cône et s'y pose sous forme de duvet, on voit paraître une couche régulière qui augmente continuellement. — L'ouvrier bastisseur, avec une palette, intercepte l'arrivée du poil à certains points du cône, de manière à donner moins d'épaisseur aux parties correspondantes du chapeau, notamment à la calotte, les bords devant avoir une épaisseur double environ. La quantité de poil employé pour chaque chapeau varie de 90 à 100 grammes.

L'appareil qui vient ensuite dans l'ordre de la fabrication est la bâche de trempe (*fig.* 3, page suiv.) ; elle est composée d'une cuve que l'on remplit d'eau chauffée à la vapeur ; deux grands montants A, A sont reliés entre eux à leur partie supérieure par une traverse horizontale B recevant l'appareil du mouvement C ; on remarque en les montants deux glissières D, D et une suspension en fer E portant un croisillon inférieur en bois F destiné à recevoir le cône et son bastissage ; il est suspendu à l'aide d'une chaîne qui s'enroule sur l'arbre des poulies H mis en mouvement soit pour s'enrouler, soit pour se dérouler, c'est-à-dire pour faire monter ou descendre, par un double système de poulies qui correspond à la poulie motrice ; les deux larges poulies extrêmes sont folles, conduites par deux courroies dont l'une seulement est croisée, elles tournent en sens inverse quand la machine est au repos ; la poulie du milieu étant fixe, en embrayant sur elle, à l'aide du levier K, l'une ou l'autre des deux courroies, on obtient un mouvement de montée ou de descente, selon que l'on enroule ou que l'on déroule la chaîne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pièce O est un loqueteau destiné à retenir suspendue, sans fatigue pour la chaîne, la suspension portant le cône et ses accessoires.

Reprenons le chapeau au point où nous l'avons laissé tout à l'heure, le bastissage est fait, il est sur le cône, on jette dessus avec précaution des couvertures mouillées et l'on place sur le tout la cloche qui n'est autre chose qu'un cône un peu plus grand que le précédent et percé de trous de 0m,01 de diamètre, le tout est retiré de dessus le porte-cône et placé sur le croisillon de la bâche de trempe remplie d'eau à 80° environ, on le voit dans cette position *fig.* 3 ; embrayant la courroie qui produit le déroulement de la chaîne, le cône s'immerge entièrement, puis on le fait remonter à la surface; cette opération a pour but de donner au bastissage la consistance qui lui manque sur le cône, c'est par là que le poil commence à se feutrer ; ensuite on le retire pour le porter sur la table d'appui ; là, débarrassé de la cloche et des couvertures de laine, on le retourne le sommet en bas, et le bastissage tombe en dépouillant le cône, il est enveloppé dans de nouvelles couvertures et pressé à la main pour en faire sortir l'eau.

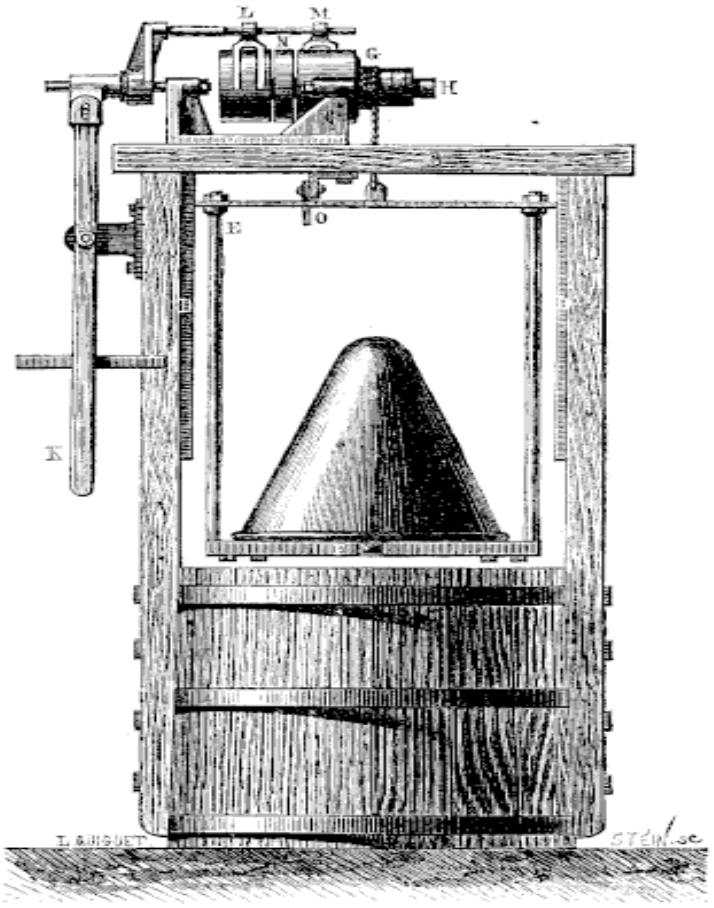


Fig. 3.

On le fait ensuite passer à l'essoreuse afin de retirer la plus grande partie de l'eau qu'il contient. Cet instrument n'étant ni indispensable ni spécial pour cette fabrication, mais seulement accessoire aux autres machines de chapellerie, nous n'en donnerons pas le dessin. Le bastissage à ce degré d'avancement peut attendre plusieurs jours pour être continué.

II. Simoussage. — Le simoussage a pour objet de donner aux bastissages la consistance nécessaire pour qu'ils puissent être soumis au foulage ; les femmes occupées à ce travail frottent, avec les mains, les chapeaux roulés dans des couvertures de laine et appuyés sur une table en fonte chauffée à la vapeur. Les figures 4 et 5 de la page suivante représentent un banc de simoussage qui, généralement, est appuyé contre l'un des murs de la salle destinée à ce travail ; cette table a 0m,80 de largeur et l'on compte ordinairement 0m,90 de longueur pour une ouvrière ; la vapeur d'échappement ou sans pression peut suffire pour faire le chauffage.

III. Foulage. — Le foulage est une opération très-importante de laquelle dépend en grande partie la bonne qualité du feutre. Dans un grand nombre de fabriques, le foulage des chapeaux se fait encore manuellement, mais il faut reconnaître que les bons fabricants font tous leurs efforts pour sortir de la routine et essayent par des expériences multipliées l'usage des foulons et des ma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chines à fouler ; les foulons déjà employés rendent des services, mais ils ne dispensent pas tout à fait de la main-d'œuvre des ouvriers, il en est de même de la fouleuse de M. Charles Mossant exposée dans la classe 57 ; quoique ces outils ne soient pas parfaits, nous ne laisserons pas passer cette occasion sans décrire les principes sur lesquels ils reposent afin de mettre sur la trace des nouveaux perfectionnements qui, de divers côtés, se poursuivent pour mener à bonne fin les résultats déjà obtenus.

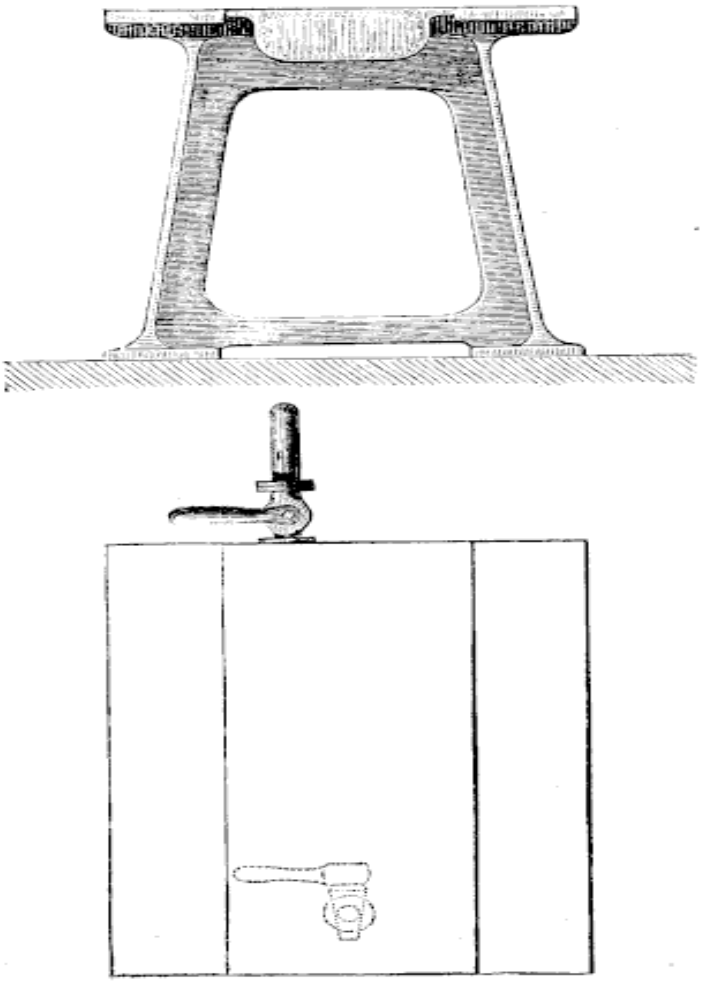


Fig. 4 et 5.

M. *Charles Mossant*, fabricant de chapeaux de feutre à Bourg du Péage (Drôme), a, dans sa fouleuse, cherché à obtenir mécaniquement les mouvements exécutés par les ouvriers fouleurs. Elle est formée d'une table creuse, en fonte, chauffée à la vapeur, portant à sa surface, tout autour, une rainure ou rigole destinée à recevoir l'eau qui s'échappe des chapeaux ; sur les bords de cette rainure se trouvent deux cadres à galets composés chacun de quatre traverses, celles qui sont dans la longueur de la machine portent dix entailles recevant les extrémités des axes de rouleaux fendus suivant un diamètre et s'ouvrant à charnières autour desquels on enroule les chapeaux.

Par-dessus les cadres, posés bout à bout sur la table de la machine, se trouve un châssis mobile qui porte, dans sa largeur, des touches ou petites palettes montées sur des pièces en fonte et maintenues sur une tige par des écrous, on donne à ces châssis, après les avoir réglés de hauteur, un mouvement rectiligne alternatif dans le sens de la longueur de la machine, dans ce mouvement les touches en bois frottent sur les chapeaux qui, de l'autre côté, portent sur la table de la machine recouverte d'une feuille de plomb ; pendant cette opération qui dure cinq minutes, les chapeaux sont constamment humectés avec de l'eau bouillante à laquelle on ajoute de l'acide sulfurique à raison d'un verre par vingt litres d'eau.

Nous venons de dire que la marche du châssis ne durait que cinq minutes ; en effet, la machine est double en longueur, elle contient deux cadres et chaque cinq minutes le châssis mobile se déplace pour fonctionner sur l'autre cadre pendant que l'on retire les chapeaux du précédent, qu'on les roule de nouveau sur les cylindres et qu'on les remet en place, il n'y a ainsi qu'une moitié de la machine qui travaille pendant que l'on garnit l'autre moitié ; l'action de mettre les chapeaux sur les petits cylindres en les changeant de place constitue le croisage.

Cette fouleuse, qui peut faire dix chapeaux par heure, nécessite trois personnes pour le service du croisage ; ce sont des femmes qui font ordinairement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce travail ; un conducteur est, en outre, chargé de régler la pression à donner aux touches et de manœuvrer les leviers du mouvement de translation du châssis.

L'avantage qu'a cette machine sur celles qui l'ont précédée est de terminer le feutrage sans que la main des ouvriers soit nécessaire, mais on doit désirer vivement une plus grande production et en même temps que le croisage se fasse plus économiquement ; le feutre ainsi préparé est dit en cloche, ses dimensions sont réduites de telle façon qu'en mettant le chapeau en forme, il y a juste la matière qu'il faut.

IV. Dressage de foule. — Les diverses opérations par lesquelles on fait ensuite passer le chapeau n'ont plus trait à la fabrication du feutre, mais bien spécialement à celle du chapeau.

L'eau chaude est encore ici l'agent que l'ouvrier emploie pour amollir le feutre, le chauffer, l'étirer, et ce n'est que peu à peu qu'il parvient à l'agrandir suffisamment et à le mettre en forme ; lorsque celle-ci est entrée, on attache une corde à la limite de la calotte et du bord que l'on relève en lui donnant toute l'ampleur que permet la matière qui, ainsi qu'on se le rappelle, est beaucoup plus épaisse à cet endroit qu'en tout autre.

Lorsque le chapeau a acquis la forme qu'il doit conserver, on le fait sécher dans une étuve.

L'Amérique a exposé une machine pour faire ce travail sans le secours de l'ouvrier fouleur ; elle se compose d'organes ou leviers en cuivre articulés et mis en mouvement à l'aide d'une pédale qui fait prendre au feutre la forme d'un chapeau ; le bord pris dans des pinces s'agrandit progressivement à mesure que la pression se produit par la pédale sur laquelle on appuie. Avant d'opérer on recouvre la partie mobile par un caoutchouc ayant la forme d'un chapeau en cloche, les organes s'ouvrant peu à peu font prendre à la cloche, caoutchouc et feutre, la forme d'un chapeau et le dressage s'opère ainsi presque instantanément. Il y a là certainement une idée à noter, mais nous ne croyons pas que jusqu'ici cette machine ait beaucoup et utilement fonctionné.

V. Ponçage. — Après le dressage de foule et lorsque les chapeaux ont été séchés en étuve vient le ponçage qui se fait encore manuellement dans beaucoup de maisons. Cette opération consiste à enlever du feutre tous les poils et les parties rugueuses et à rendre la surface du chapeau douce au toucher. C'est en frottant le feutre avec de la pierre ponce et du papier émeri collé sur des morceaux de bois de diverses formes que l'on obtient ce résultat.

La machine de l'invention de M. Coq, *fig.* 6 (page suivante), est assez improprement appelée ponceuse, car elle ne ponce pas, mais facilite seulement le ponçage qui reste toujours une opération manuelle.

L'appareil est simple : il consiste en un arbre vertical A doué d'un mouvement rapide de rotation, sa partie supérieure reçoit le porte-chapeau, sorte de forme creuse qui permet de faire le ponçage des bords ; en dessus et à l'aide d'une vis on peut placer à volonté les diverses formes sur lesquelles on met les chapeaux pour les poncer, au-dessous du porte-chapeau C se trouve un aspirateur qui retire les poussières et le poil venant du ponçage et qui sans cela iraient à la figure de l'ouvrière et rendraient le travail impossible, il projette violemment les détritus au dehors par un conduit qui communique à l'appareil.

Le chapeau amené à cet état, bien que terminé au point de vue de la fabrication du feutre, a encore à subir diverses manipulations ; s'il doit rester *souple*, le repassage et le garnissage le termineront ; au contraire s'il doit être *impair*, c'est-à-dire *ferme*, on doit avant le repassage l'apprêter et le mettre en tournure, ce qui lui donnera avec une grande légèreté une solidité que ne possède pas le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chapeau souple. On employait autrefois pour cela de la colle qui donnait un bon durcissement, mais sa solubilité fut un des inconvénients qui la fit rejeter, et ce n'est qu'après de nombreux essais infructueux qu'on est parvenu, en faisant usage de gommes et de résines, à obtenir un chapeau non-seulement léger et imperméable, mais moins cher, plus beau à l'œil, plus hygiénique et plus agréable à porter.

Il n'est pas de détail du métier de chapelier plus important que celui du dur-

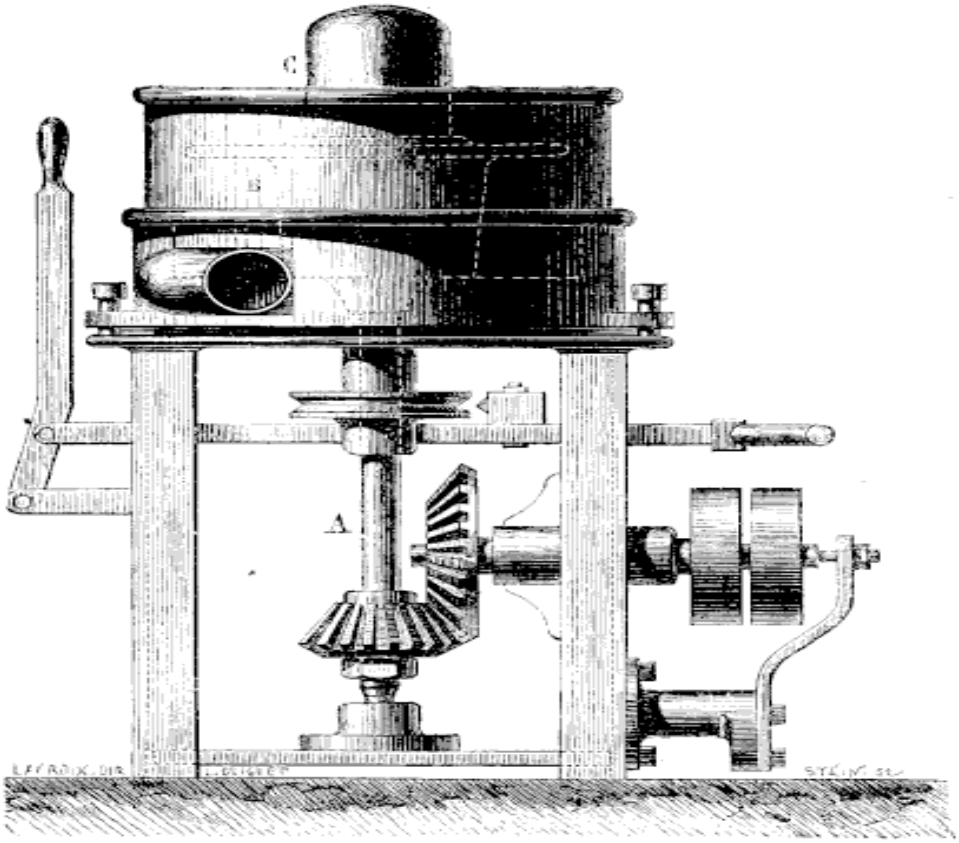


Fig. 6.

cissement, car non-seulement il faut avoir égard à l'espèce et à la qualité, mais encore il doit être plus ou moins considérable suivant le climat sous lequel le chapeau doit être porté. Il doit être beaucoup plus dur dans les pays humides que dans les pays chauds; en Angleterre, par exemple, on durcira beaucoup plus le feutre qu'en Italie.

En Amérique on emploie, pour apprêter les meilleurs chapeaux, de bonnes gommes dissoutes dans l'alcool ; pour les chapeaux inférieurs, on fait usage d'une composition moins coûteuse. Leur application consiste à en imprégner les bords et la calotte du chapeau et à le mettre, ainsi préparé, dans un appareil qui ressemble assez à une presse pour copie de lettres, si au lieu du plateau inférieur on imagine une forme creuse A qui reçoit le chapeau, la figure 7 (page suivante) montre cette presse construite en fonte et montée sur une table en bois.

VI. Dressage et repassage. — Le repassage des chapeaux de feutre est encore généralement fait à la main, néanmoins il existe des machines spéciales, exposées dans la classe 57, qui donnent de très-bons résultats appliquées à la paille et au feutre impair surtout ; le travail du fer y est complétement remplacé par un travail mécanique et l'on peut avec une seule machine mue par un seul homme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

repasser vingt ou trente fois plus de chapeaux, quelle qu'en soit la forme, qu'avec un ouvrier fort habile. Nous allons les décrire, car elles présentent un très-grand intérêt au point de vue de la production et de l'économie qu'elles apportent dans cette partie de la fabrication.

Les opérations par lesquelles on termine le chapeau sont : le *dressage* qui consiste à remettre le chapeau en forme ; le *repassage* qui se fait à la main à l'aide du fer chaud, enfin le repliage des bords ; ce sont ces trois opérations que font deux machines exposées : l'une par M. *Coanet Eugène*, de Nancy, l'autre par MM. *Mathias et Legat*, de Paris.

La machine de *M. Eugène Coanet*, dont le principe a fait l'objet de son brevet du 10 septembre 1862 et de divers certificats d'addition, peut faire, à la fois, les trois opérations décrites plus haut dans de bonnes conditions sur des chapeaux de paille, de latanier et de feutre impair ; quant au feutre souple on n'a pu jusqu'ici l'obtenir qu'imparfaitement : malgré cela les services rendus par cette machine sont déjà considérables et de bon augure pour l'avenir. Sa manœuvre est d'ailleurs simple et facile pour un ouvrier quelque peu exercé et sa production peut aller jusqu'à 200 à 300 chapeaux par jour. Elle se compose, *fig.* 8 (page suivante), d'un tambour ouvert à sa partie supérieure et recevant la matrice ou forme en creux du chapeau à repasser, ce tambour est chauffé soit au gaz, soit à l'aide de vapeur sans pression que l'on fait arriver par un tube, elle peut être produite par un petit générateur placé à côté de la machine, ce qui explique qu'elle peut être employée dans un endroit où il n'y a ni gaz, ni vapeur : il suffit d'un peu d'eau.

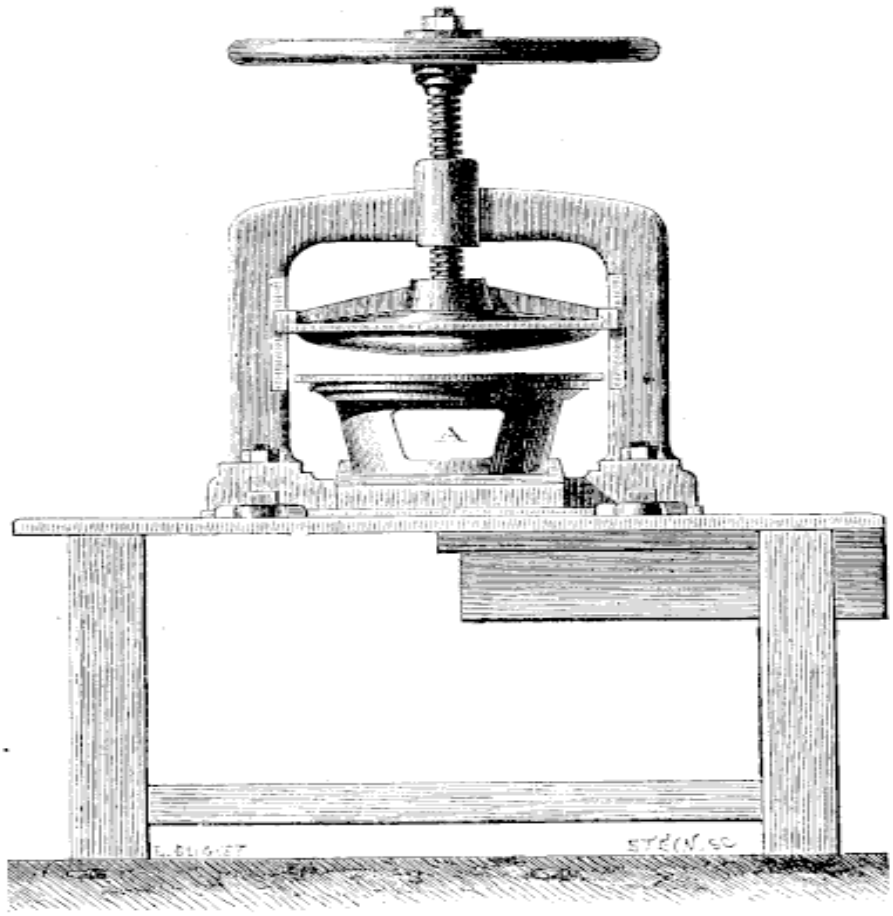


Fig. 7.

Le second organe de la machine est un plateau mobile dans le sens vertical qui monte et descend à l'aide d'une vis tournant dans un écrou fixe ; elle est mise en mouvement par deux engrenages droits dont l'un est monté sur l'arbre fileté et l'autre sur une tige verticale parallèle qui porte à sa partie inférieure une roue d'angle correspondant à une deuxième située à l'extrémité de l'arbre à manivelle qui donne le mouvement à l'appareil.

Pour opérer on place dans le tambour E une *forme* F dont les bords font joint avec l'ouverture pratiquée sur le dessus, on place le chapeau dans cette forme après le ponçage, dressé de foule simplement, puis à l'intérieur on met

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en K un tampon élastique formé de feutre ou de matières souples servant, par la compression, à donner la forme aux calottes des chapeaux, l'intérieur E du tambour est chauffé, ainsi que nous l'avons dit précédemment et transmet sa température à la forme F et au feutre.

Le plateau mobile H, qui est fixé à la vis, sert à comprimer le tampon K dont nous venons de parler et celui J est composé d'une plaque de feutre ou élastique servant à dresser les bords.

Le tambour E étant bien dans l'axe de la vis, si l'on fait manœuvrer celle-ci, le plateau H descendra et les deux tampons K et J viendront se rencontrer, se presser fortement et appuyer le chapeau, calotte, bords et rebords sur la forme chauffée et en épouser tous les contours fort exactement de sorte qu'en le retirant on lui trouvera un brillant, un fini qu'il est fort difficile d'atteindre par le travail manuel. Un seul homme suffit pour manœuvrer la machine. M. Coanet fait aussi des machines à deux tambours, deux ouvriers peuvent y être occupés en même temps ; pendant que l'un prépare le chapeau dans la forme après l'avoir éloigné du centre, l'autre ouvrier donne la pression sur le sien et laisse la machine libre à son voisin pendant qu'il retire son chapeau pour en remettre un autre ; dans ce cas un homme de peine tourne la manivelle et le travail est

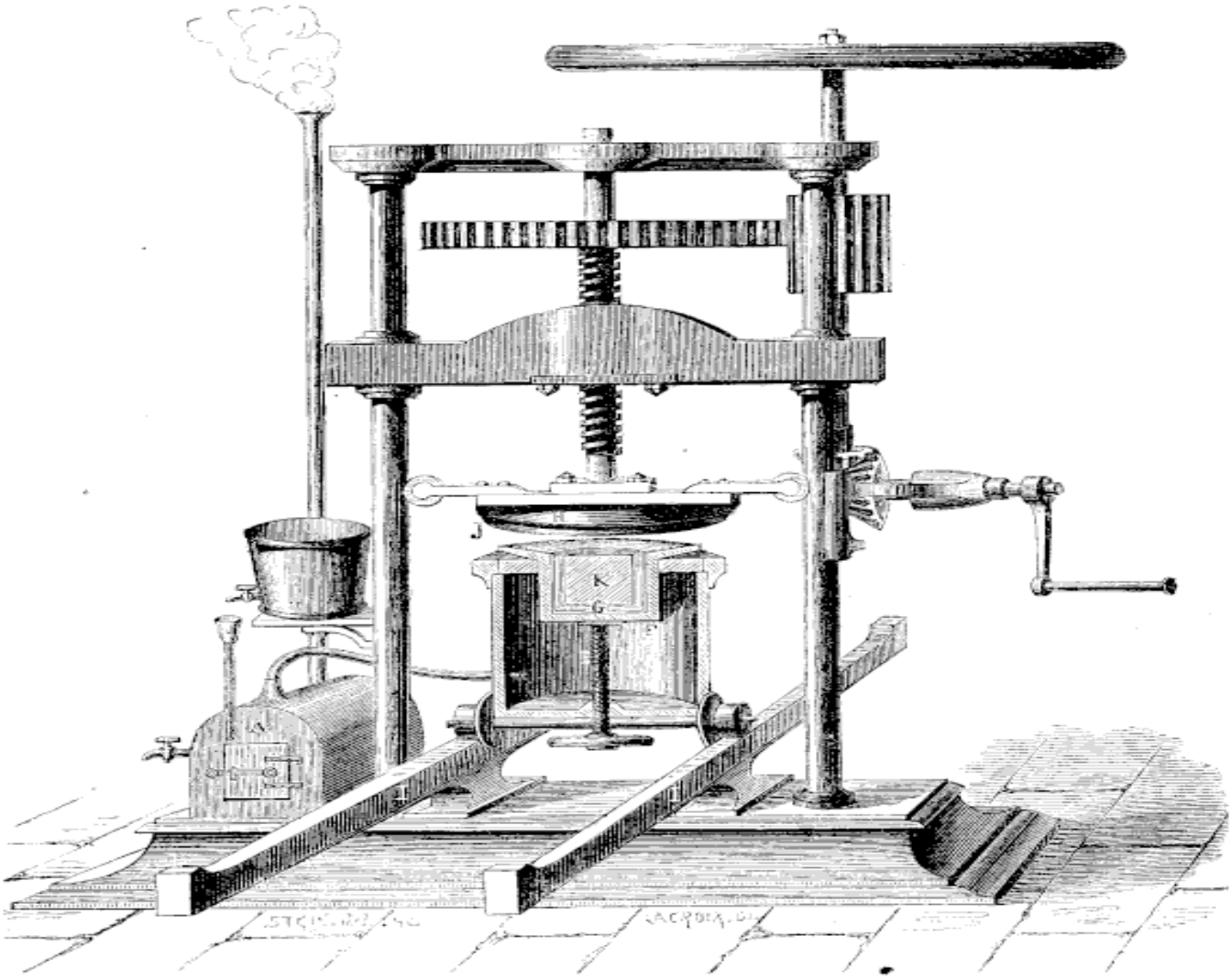


Fig. 8.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi doublé ; on peut donc faire avec la même machine et en même temps des chapeaux très-différents de forme, car le tampon mobile appelé couvre-forme peut suffire pour toute espèce de chapeaux.

M. Coanet livre avec chaque machine simple un jeu de six formes en zinc au choix des acheteurs.

MM. *Mathias* et *Legat*, de Paris, ont exposé à la classe 57 une collection de machines de leur invention, destinées à *apprêter les chapeaux de paille, de feutre et d'imitation de feutre*, parmi lesquelles on distingue deux types parfaitement distincts.

1° Le type horizontal (*pl.* 218, *fig.* 1 et 2) à bascule est surtout propre au repassage des pailles, crins, lataniers, palmiers, panamas et feutres impairs.

2° Le type système vertical (*pl.* 218, *fig.* 3), objet d'un autre brevet, est spécialement combiné pour les feutres souples et impairs, quoique pouvant également s'appliquer à toute espèce d'autres chapeaux.

Dans chacune de ces machines, la pression quelquefois considérable s'opère en vase clos. Dans celle du type horizontal (*pl.* 218, *fig.* 1 et 2) la partie inférieure A, dite porte-forme, est creuse et fixée à une table en fonte, la forme se place en D où elle est chauffée par un moyen quelconque ; la partie supérieure, dite couvre-forme, est une pièce massive de fonte montée sur un arbre E, sa partie antérieure est creuse et armée en dessus de fortes nervures, le dessous est terminé par une feuille épaisse de caoutchouc fixée solidement par des boulons. La partie postérieure du couvre-forme est un levier EL terminé à son extrémité par deux forts contre-poids M, M qui équilibrent la masse et permettent de manœuvrer facilement le couvre-forme ; le ressort O sert d'appui au levier pendant le chargement de l'appareil. Les deux parties, porte-forme et couvre-forme, sont rendues solidaires au moyen d'un système de clavettes C, C fixées aux deux extrémités d'un levier P que l'on fait avancer horizontalement glissant dans deux guides Q, Q lorsque l'on manœuvre ; le levier RR placé à portée de la main communique un mouvement circulaire à l'axe SS par une roue dentée T ; cet axe, muni lui-même d'un secteur denté qui engrène avec une crémaillère fixée au levier P, fait marcher celui-ci dans le sens horizontal et déplace dans le même mouvement les deux clavettes en acier C, C.

Pour se servir de l'appareil on commence par chauffer la forme D, qui est simplement posée sur le porte-forme, à l'aide de vapeur sans pression, ce qui coûte extrêmement bon marché (environ 0 fr. 50 par jour), ce chauffage peut également se faire au gaz ou par toute autre production calorifique, on place ensuite le chapeau à repasser, avec quelques précautions, dans la forme, en faisant un effort sur la poignée on abaisse le couvre-forme et l'on manœuvre le levier R qui fait entrer les clavettes.

Cette machine porte, en outre, un cylindre que l'on remplit d'eau élevée déjà à une certaine pression, puis on la chasse entre la partie creuse du couvre-forme FGH et le caoutchouc FHK à l'aide d'un piston manœuvré par une roue fixée à son axe fileté et tournant dans un écrou. Lorsque la pression est assez considérable, elle fait épouser à la membrane élastique tous les contours de la forme, quelque variés qu'ils soient, en communiquant au chapeau d'une manière uniforme la pression obtenue au degré convenable, ce que l'on reconnaît au manomètre placé sur la cloche. Lorsque la pression est donnée, en détournant la roue on ramène le piston en arrière et l'eau revient remplir de nouveau le cylindre en faisant baisser la pression derrière le caoutchouc : on voit que la même eau peut servir plusieurs fois, une seule opération suffit pour obtenir un fini et un luisant parfaits ; c'est ainsi qu'à Paris on repasse maintenant la presque totalité des chapeaux qui sont, par ce procédé, rendus plus *fermes*, plus *carte* que par le repassage à la main.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la machine du système à mouvement rectiligne vertical (*pl.* 218, *fig.* 3), le dessin fait suffisamment comprendre le porte-forme auquel est assemblée, de chaque côté, une pièce portant des galets destinés à rouler sur des guides latéraux, la partie supérieure ou couvre-forme a l'aspect d'une cloche surmontée d'un petit cylindre portant un piston ; pour rapprocher les deux parties l'une de l'autre, on appuie sur la pédale A à l'extrémité de laquelle sont accrochées deux chaînes B, C faisant descendre le couvre-forme en même temps que celui-ci correspondant au porte-forme par une chaîne fixée en D et en E, et roulant sur la poulie F, le fait monter; on obtient la solidarité de ces deux pièces au moyen d'une forte couronne dentée GG représentant le mode de fermeture à baïonnette.

La forme se place comme dans le cas précédent, et la pression est donnée en tournant ; à l'aide de poignées H, H, l'écrou en bronze K qui fait descendre la vis et par suite le piston et le liquide, agit sur le caoutchouc et sur le chapeau. Cette machine donne de fort bons résultats, un seul homme, non initié à ce travail, peut avec chacune de ces machines repasser de 30 à 60 chapeaux à l'heure avec un fini extrême, quelquefois même la nature des chapeaux permet de dépasser notablement le chiffre de production.

A côté de ces deux machines en figure une autre de système horizontal à bascule, laquelle au lieu de porter un cylindre réservoir avec piston presseur est munie d'un curieux mouvement automoteur à vapeur (*pl.* 218, *fig.* 4, 5, 6), permettant à l'ouvrier de la faire fonctionner par la simple manœuvre d'un levier placé à portée de la main.

Cette machine mise en communication, par le robinet V, avec l'intéressant appareil automoteur de pression que nous allons décrire, montre jusqu'à quel point l'homme peut être remplacé par l'usage de ces machines, et aussi jusqu'où l'on peut porter l'accélération de la production.

L'accumulateur à air comprimé ou récipient automoteur de pression exposé par MM. Mathias et Legat semble avoir été spécialement combiné pour marcher manufacturièrement avec les machines à repasser, il peut facilement, en service continu, en alimenter six et permet d'obtenir la pression sur chacune d'elles par la simple ouverture d'un robinet.

Cet appareil est, en dehors de cette application spéciale, croyons-nous, susceptible d'un grand nombre d'applications utiles, d'une construction très-simple et d'un fonctionnement certain ; il n'exige pas les monstrueux contre-poids indispensables dans les appareils de ce genre. Il se compose d'une cloche A recevant, à sa partie supérieure, de l'air qui y reste emprisonné à la pression voulue, et à sa partie inférieure de l'eau chassée à la demande par une pompe foulante B mise en mouvement par la bielle D conduite par l'excentrique E, les deux fluides sont séparés par une feuille de caoutchouc C sur laquelle on prend un point d'appui au niveau du liquide pour transmettre à l'extérieur, à l'aide de leviers articulés en F et en G et reliés par des bielles, ses oscillations en un mouvement nécessaire au déplacement d'une courroie menant les poulies H, H commandant la pompe de pression ; les contre-poids L, L sont destinés à faciliter ce déplacement, de telle sorte que cette pompe refoule de l'eau dans l'appareil quand le niveau descend d'une certaine quantité au-dessous du niveau moyen, et qu'elle cesse toute alimentation quand le niveau monte de la quantité voulue au-dessus du même niveau moyen; par cette combinaison il n'y a toujours que du travail utile de produit, lequel correspond au maximum à 1/2 cheval vapeur pour 25 atmosphères au manomètre.

Chaque machine à repasser, que son mouvement soit horizontal ou vertical, permet de presser les chapeaux soit en creux, soit en relief, et porte un système spécial pour le changement des formes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le changement et le chauffage d'une forme s'obtiennent en quelques minutes.

Ces appareils, qui ont fonctionné tout le temps qu'a duré l'exposition universelle avec une grande régularité, sont déjà, quoique nouveaux, installés en grand nombre dans des fabriques importantes de la France et de l'étranger.

Le jury international des récompenses de l'exposition universelle de 1867 a décerné aux inventeurs de ces utiles appareils une médaille d'argent ; ce résultat confirme pleinement la faveur que leur ont accordée les manufacturiers.

VII. Garnissage. — Le garnissage consiste à border le chapeau, à placer le fond, le cuir intérieur et le ruban ou bourdaloux; depuis longtemps déjà les chapeaux sont bordés à l'aide de machines à coudre au point de navette ; MM. Barrère et Caussade ont eu, pendant de longues années, la spécialité de ces machines, auxquelles ils avaient su ajouter un guide fort commode, et dès lors très-estimé des bordeuses de chapeaux, les autres parties, telles que la fixation du cuir intérieur, du fond, et le placement du bourdaloux, se font à la main et nécessitent de la part des ouvrières une certaine habileté.

CHAPITRE II

MACHINES EMPLOYÉES DANS LA FABRICATION DES CHAUSSURES

Depuis fort longtemps déjà le découpoir à emporte-pièce est entré dans la fabrication de la chaussure, l'emploi de cet outil constitue le débitage de la matière première, l'une des plus importantes opérations de la fabrication au point de vue de l'économie. On se sert de presses à découper ordinaires dont la force est en rapport avec l'épaisseur du cuir. L'exposition en contenait un assez grand nombre, classes 54 et 60, mais rien de particulier ne les faisait remarquer relativement à la spécialité qui nous occupe.

Balancier mobile. — La *classe* 57, au contraire, renfermait une machine à découper, dite Balancier mobile, exposée par M. *Adolphe Coanet*, de Strasbourg, construite tout spécialement pour le découpage des dessus et des doublures pour chaussures en étoffe. Elle se compose de deux bâtis fixes reliés ensemble à leur partie supérieure par un sommier portant un balancier mobile, lequel peut, à l'aide de la manœuvre d'une roue, se déplacer et parcourir toute la largeur de la machine, de sorte que l'étoffe étant posée sur des outils rapprochés les uns des autres, on donne un coup de balancier sur chacun d'eux sans rien déranger. Ces outils étant placés sur une table mobile dans le sens longitudinal, on peut toujours, par son mouvement combiné avec celui du balancier, les présenter sous la presse ; par derrière se trouve une annexe fort utile servant à tendre et à fixer les étoffes, ce qui permet de les utiliser mieux et d'éviter ainsi de nombreux déchets, cette machine a certainement des avantages que n'ont pas celles qui sont en usage, car ici, et c'est ce que l'on ne saurait trouver ailleurs, la combinaison d'un balancier pouvant se déplacer avec la table de coupe mobile et le tendeur fixant les tissus constitue un véritable et sérieux perfectionnement.

Aucune des machines qui servent à la préparation soit des semelles en les cambrant, soit des talons, n'a été exposée dans la section française ni dans la section étrangère. On emploie généralement des presses ordinaires pour la cambrure des semelles, mais on ne peut l'obtenir dans de très-bonnes conditions qu'à l'aide d'une presse hydraulique d'une assez grande puissance.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPRÊTEUR MÉCANIQUE. — L'un des rares appareils réellement nouveaux et présentant un intérêt très-sérieux aux fabricants de chaussures est exposé par M. *J. Touzet*, fabricant de chaussures à Paris, sous le nom d'apprêteur mécanique.

L'emploi des fils de gomme de mauvaise qualité, qui entrent depuis longtemps dans la fabrication des tissus élastiques pour chaussures, est la cause de pertes assez sérieuses de la part des fabricants ; cette perte est encore augmentée par la manière dont ces tissus sont fixés au dessus de peau ou d'étoffe. Le bâtissage d'abord, puis la piqûre à la machine, enfin le finissage ou pose de la doublure rabattue ensuite à la main et cousue au tissu élastique sont les trois opérations qui fatiguent et coupent les fils de gomme et les ramènent souvent à la surface ; de là le peu de durée qu'ont ordinairement les élastiques des chaussures.

Les Anglais emploient une méthode qui n'est guère plus expéditive que celle que nous venons de décrire, mais elle est assurément meilleure en ce qu'elle consiste à placer de suite l'élastique entre la peau et la doublure, et à piquer le tout ensemble après un bâtissage préalable, de sorte qu'ils évitent le rabattage de la doublure, et que l'élastique se trouve par la piqûre mécanique serré entre la peau et la doublure.

C'est ce résultat que M. Touzet a cherché à obtenir, et il y a doublement réussi en supprimant le bâtissage à la main, c'est-à-dire l'une des deux opérations qui altèrent le tissu, en le remplaçant par un apprêtage mécanique par lequel, en même temps, le dessus, l'élastique et la doublure sont posés et ajustés par l'appareil sans être ni froissés, ni défraîchis par le bâtissage à la main ; on fait ensuite une seule couture à la machine à coudre au point de navette, elle peut sans doute endommager les fils de gomme, mais comme elle est seule, l'altération du tissu sera d'autant moins à craindre qu'il sera serré entre le dessus et la doublure.

Outre la plus grande solidité qui est obtenue, comme on le voit, à l'aide de l'apprêteur mécanique de M. Touzet, l'économie réalisée par son application n'a pas moins d'importance et peut se résumer ainsi :

1° Suppression de la marque indispensable pour faire un bâtissage régulier ;

2° Bâtissage des élastiques avant la piqûre à la machine, 60 p. 100 d'économie, déduction faite de l'apprêtage mécanique ;

3° Suppression du finissage des tiges ;

4° Suppression de la sortie et de la rentrée des tiges de la fabrique et des changements de main ;

5° Économie considérable sur le coton employé pour le bâtissage.

Enfin on doit encore faire entrer en ligne de compte, au profit de l'apprêteur, la facilité avec laquelle peut se conduire la fabrication et l'exécution des commissions, puisqu'il n'y a plus de sortie et que tout peut s'exécuter sous l'œil vigilant du fabricant.

L'apprêteur Touzet est représenté par la fig. 9 ci-contre ; il se compose d'une table en fonte supportée par trois pieds ou bâtis également en fonte, sa pose est des plus simples, il suffit de placer la table de niveau et de fixer les pieds au plancher par quelques vis.

Les contre-fers doivent être placés à la hauteur des platines mobiles.

Le plateau A en bronze est composé de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile autour d'un axe peut se fermer, comme on le voit en D lorsque l'opération de l'apprêtage est terminée.

B platine mobile, que l'on voit sur le dessin un peu recourbée pour être plus facilement saisie par les doigts, détermine la largeur de l'étoffe et de la doublure que l'on doit replier.

C guide qui sert à placer les parties de manière qu'elles se raccordent bien.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

E, E, E, E sont des fourneaux devant chauffer au gaz ou à l'aide de tout autre moyen les fers destinés à rabattre les bords des dessus et des doublures.

F pédale servant à faire monter les fers ainsi chauffés au niveau des contre-fers.

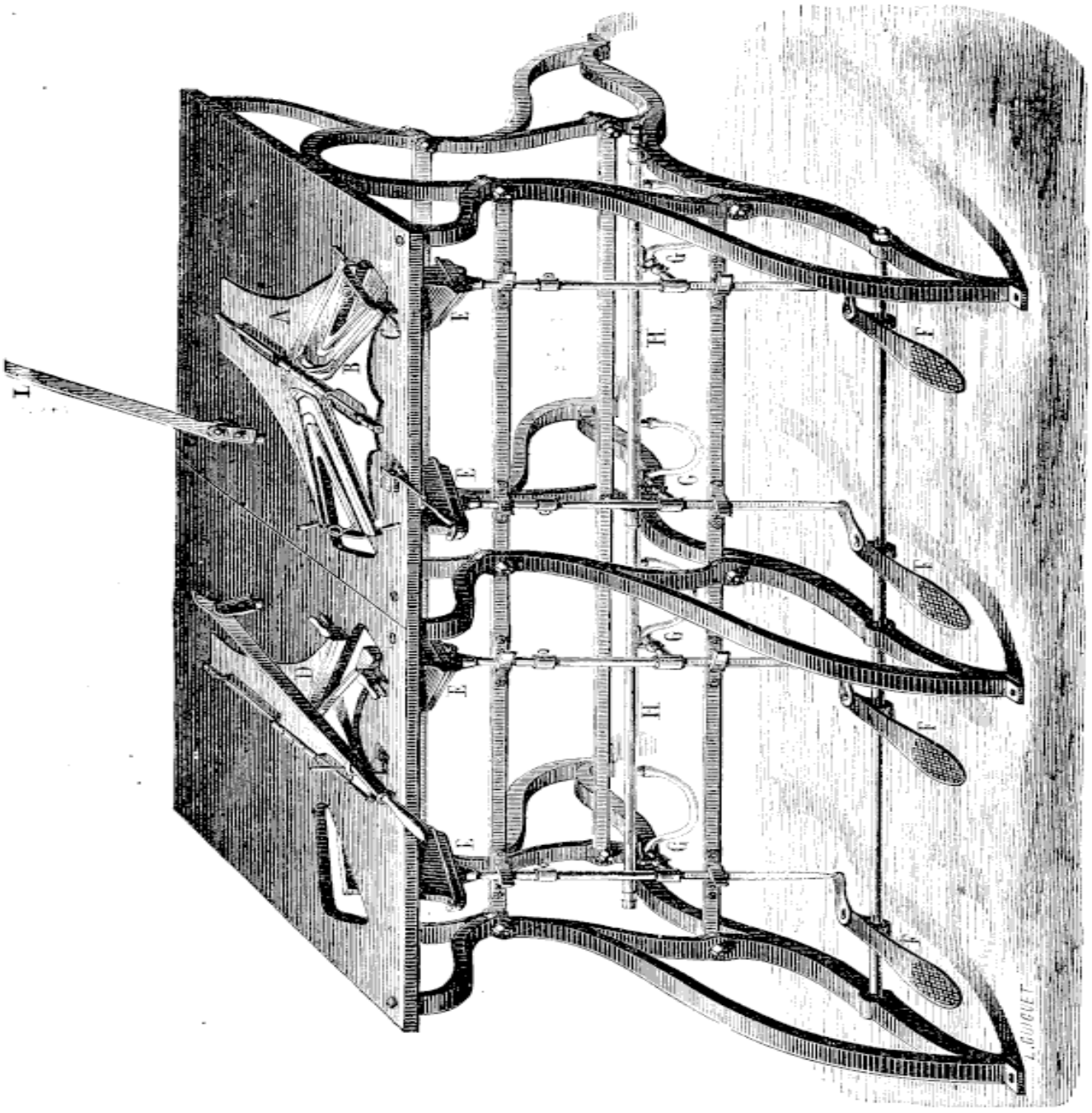


Fig. 9.

Les conduits de distribution du gaz sont en H et les lettres G font voir les raccords en caoutchouc et les robinets servant à régler la chaleur de chaque appareil.

Enfin un levier L articulé se rabat pour maintenir les plateaux fermés tels qu'ils sont représentés en D.

Nous terminerons en indiquant sommairement le fonctionnement de l'appareil. On commence par le plateau de gauche en plaçant les guides sur chacune

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de ses parties, puis sur le plateau fixe on met le dessus, peau ou étoffe, de manière que la partie enlevée encadre parfaitement le guide, et sans le forcer on le maintient au moyen de la plaque de serrage, puis on retire le guide. On place la doublure, de la même manière, sur la partie mobile du plateau en la fixant avec une deuxième plaque de serrage. Il faut ensuite mettre en place la platine qui marque la largeur à rabattre et on agit sur la pédale pour monter le fer que l'on prend avec un crochet à poignée pour le faire glisser et former le rempli.

On enlève ensuite la platine en la tirant par le sommet (soulevez légèrement en appuyant sur la pédale), puis on laisse le tout en place pendant que l'on empâte les bords du tissu élastique placé dans un petit appareil, on fait descendre les fers et l'on place l'élastique sur le dessus en l'apportant avec le guide de façon que celui-ci porte au fond du plateau; il ne reste plus qu'à rabattre la partie portant la doublure et à la serrer fortement en abaissant le levier L, ainsi qu'on le voit en D, quelques minutes suffisent pour que les parties adhèrent parfaitement et qu'on puisse les retirer.

Les fers ne doivent pas dépasser la température à laquelle on les soumet ordinairement pour repasser le linge, mais dans le cas où les dessus sont en peau, on doit les chauffer beaucoup moins.

Chaque apprêteur comporte deux plateaux.

M. Touzet fait des apprêteurs pour chaussures d'hommes et pour chaussures de femmes ; ces deux modèles sont un peu différents quant à la dimension des plateaux, mais chacun de ces deux appareils sert pour toutes les pointures, soit des chaussures d'hommes, soit des chaussures de femmes; on comprend que pour qu'il en soit ainsi, les élastiques ne peuvent varier ni de largeur, ni de forme, mais seulement de hauteur : c'est peut-être la seule objection que l'on puisse faire à la machine de M. Touzet qui ne se prête pas à l'apprêtage de tiges dont les tissus élastiques varient de formes et de dimensions.

Cet appareil peut s'employer dans d'autres industries que la chaussure, il peut s'appliquer également au corset, à l'article de voyage, etc., etc.

Barre a ouvrir. — M. Touzet est encore l'inventeur d'un petit appareil qu'il

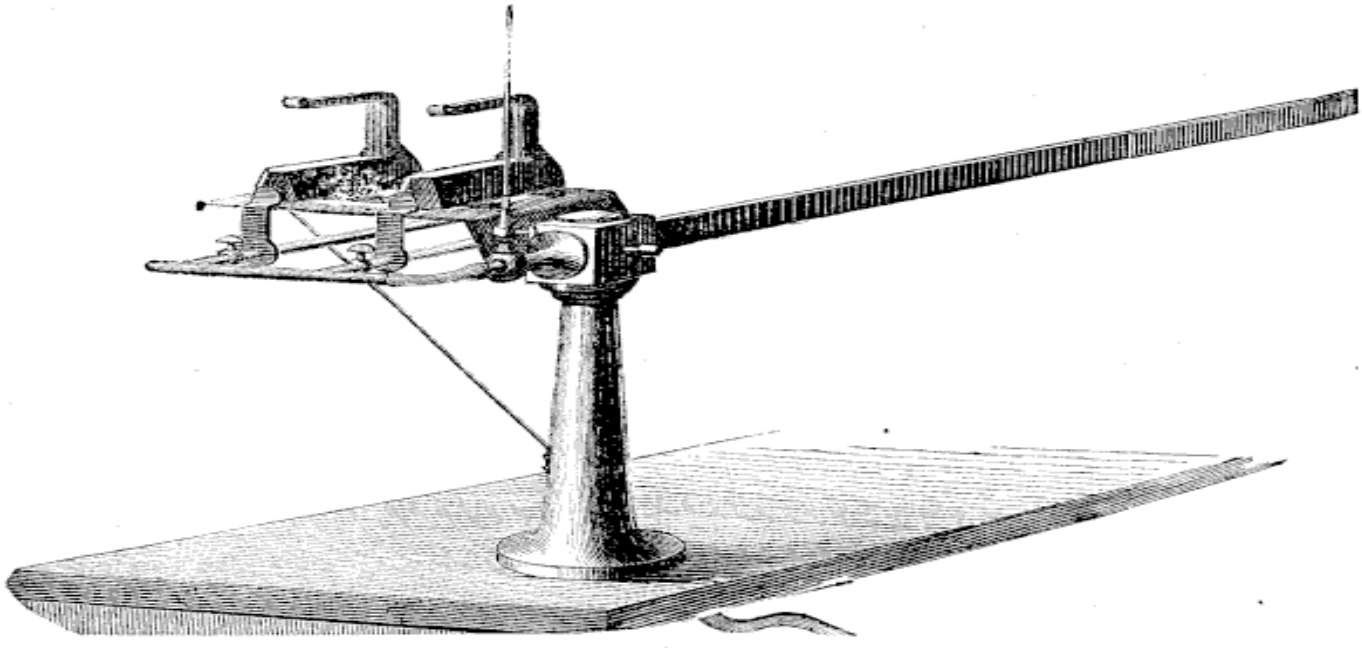


Fig. 10.

appelle barre à ouvrir, représenté fig. 10 ; il évite l'ouverture des coutures qui s'exécute encore aujourd'hui à la main. Ce travail, fait à l'aide du fer chaud,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

supprime les coups de ciseaux obligatoires par les moyens ordinaires, pour cambrer la tige, et laisse au tissu toute sa solidité. Pour s'en servir on place les tiges, dont on veut ouvrir les coutures, à cheval sur la barre et à l'aide d'un fer chauffé au gaz sur le fourneau on passe sur chaque couture et on fait retomber les tiges au fur et à mesure qu'elles sont ouvertes.

Atelier de MM. S. Dupuis et Cie a l'Exposition. — Vient ensuite dans l'ordre de la fabrication le montage que nous rencontrons dans l'atelier de la compagnie générale des chaussures à vis, qui, en outre, a exposé ses machines *à visser*, *à couper les vis*, *à mouler* et une *fraise* à terminer les talons.

Machine a monter. — La machine à monter permet à une femme de faire les diverses opérations qu'exécute l'ouvrier monteur : une forme se place au centre de l'appareil ; le dessus de la chaussure fixé aux deux extrémités par un petit clou est ensuite rendu adhérent à la forme et s'y applique exactement au moyen d'un tirage énergique produit par des pinces manœuvrées à l'aide de pédales, ce qui laisse libres les deux mains de l'ouvrière ; la partie centrale et utile de la machine tourne sur pivot, de telle sorte qu'elle peut présenter à volonté le dessous de la chaussure ou le dessus. La production de cette machine servie par une ouvrière est de 20 à 25 paires par jour.

Machine à visser.—La machine la plus importante dans la fabrication des chaussures à vis est celle à visser ; l'Exposition en comptait sept, parmi lesquelles celles de MM. S. Dupuis et de M. Maugin, marchant par la transmission, représentaient les meilleurs types, car elles n'emploient que des vis filetées à l'avance, par conséquent pouvant être faites dans de bonnes conditions. Le vissage est très-important au point de vue de la bonne fabrication, car c'est de lui que dépend *la solidité* de la chaussure, son *imperméabilité*, enfin *sa durée*.

Quant aux autres machines qui font les vis en même temps que le vissage, il n'est pas possible d'en obtenir de très-bons résultats, car une seule passe d'un laiton dans une filière ne peut pas former un bon filet, pas plus qu'un burin ne peut enlever d'une seule fois la matière que l'on doit retirer pour former le creux de la vis ; il n'est donc pas possible pratiquement d'obtenir un filet aigu, bien fait et dont la résistance se rapproche de celle du cuir.

M. Duméry, qui s'est beaucoup occupé de la question du vissage, indique les rapports suivants entre de bonnes vis faites à l'avance et celles taraudées par les machines à visser.

INDICATIONS.	VIS FILETÉES à L'AVANCE.	VIS TARAUDÉES par les meilleures machines A VISSER.	VIS DÉFECTUEUSES taraudées par diverses machines A VISSER.
Creux ou vides mesurés sur la section transversale de la vis.	3	2	1
Cube de matière engagée dans un filet..	$2^{m3},634$	$1^{m3},347$	$6^{m3},853$
Diamètre du noyau, $1^{m},2$ pour section transversale.....	$1^{m3},13$	$2^{m3},83$	$2^{m3},83$
Résistance à la rupture par millimètre carré.....	$135^{k},6$	339^{k}	340^{k} } (1)
Résistance dans du cuir de vache de $2^{m},5$.....	24^{k}	$14^{k},65$	$6^{k},1$ } (1)
Surface en contact pour la révolution d'un filet.....	$3^{m2},39$	$2^{m2},07$	$1^{m2},69$
Surface de révolution ou base d'attache des filets.....	$7^{m2},70$	$5^{m2},10$	$4^{m2},80$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tous ces chiffres et surtout ceux qui sont relatifs à la résistance comparative des vis et du cuir (1) montrent l'avantage considérable qu'ont les vis filetées à l'avance sur les vis taraudées par les machines à visser. Cette différence peut d'ailleurs, sans avoir recours aux chiffres, être rendue extrêmement sensible par la comparaison entre eux des dessins à grande échelle de ces vis.

Machine a visser. — La machine à visser exposée par M. S. Dupuis est bien celle qui jusqu'ici a fait le travail le plus parfait; elle est formée d'un bâti en fonte dont la partie antérieure soutient une série de six bigornes fondues ensemble autour d'un même axe dont les tourillons permettent un déplacement facile; chacune représente une partie de la forme de la semelle ; l'ouvrière visseuse devra donc, pour que la chaussure ne se déforme pas, faire usage de chacune de ces bigornes aux endroits déterminés. La pression considérable que l'on donne à la semelle au moment du vissage s'opère, à l'aide d'une pédale, par la tête de la machine, que l'on appuie sur la semelle dont l'intérieur repose sur le pied de biche ; elle marche à la vapeur : un arbre vertical placé par derrière et portant une poulie à gorge communique un mouvement très-rapide à un petit cylindre vertical situé en avant et qui porte à sa partie inférieure une mèche et un porte-vis, l'ouvrière visseuse commence par faire le trou à l'aide de la mèche, puis place une vis dans la partie destinée à la recevoir, et ensuite la visse dans la semelle jusqu'à ce que la pointe se rive à l'intérieur en portant sur le tas. L'usage de cette machine ne permet l'emploi que de vis faites à l'avance ; aussi la maison S. Dupuis ne se sert-elle que de vis en cuivre pour les semelles et en fer pour les talons, fort bien faites et ayant un filet beaucoup meilleur que celui des vis qui se font en même temps que le vissage. La production de cette machine est de 50 ou 60 paires par jour.

Machine a couper les vis. — Les vis placées avec la machine précédente dépassent la semelle de 8 à 10 millimètres et sont coupées avec un outil spécial dont l'une des lames horizontales est fixe et la deuxième mobile douée d'un mouvement alternatif très-rapide, les vis placées entre ces mâchoires sont abattues d'un seul coup et il faut moins d'une minute pour couper toutes les vis d'une paire de chaussures. La production est de 400 paires par jour.

Meule. — Il est ensuite nécessaire de passer la semelle et les têtes des vis ainsi coupées sur une meule en émeri qui tourne rapidement et dont la poussière est aspirée par un ventilateur et rejetée dehors.

Fraise a talons. — Enfin la dernière machine est la fraise à talons, outil d'un usage analogue aux fraises à fer, mais d'une marche bien différente. Elle est circulaire, son profil est celui que l'on veut donner au talon, elle tourne à une vitesse de 2500 tours par minute à l'extrémité d'un arbre vertical commandé par une courroie tordue; la production est de 600 à 700 paires par jour. L'ouvrier appuie la chaussure sur la table en fonte, présente le talon en le tournant et fait mordre l'outil plus ou moins suivant les besoins. Cette machine, ainsi que les précédentes, quoique n'étant pas nouvelles, présentent cependant, dans leur ensemble, les types les plus parfaits que possède la fabrication de la chaussure vissée.

Nous devons mentionner également les diverses machines à visser qui font en même temps leurs vis de MM. *Lemercier*, *Maugin* et *Cabourg* : le principal avantage de ces diverses machines consiste en ce que leur manœuvre se fait à la main, ce qui permet aux plus petits fabricants d'en faire usage et même d'en tirer un bon parti, mais dans aucun de ces systèmes la vis n'est bien faite, elle est égrenée le plus souvent, puis coupée carrément elle présente toujours une bavure qui la fait prendre difficilement dans des cuirs fermes.

Machine Lemercier. — La machine à visser de M. Lemercier est celle qui pa-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rait jusqu'ici donner les meilleurs résultats et qui est employée sur une certaine échelle surtout pour les fournitures de l'armée. La chaussure se place sur une forme ou simplement sur un chariot brisé, la machine articulée s'élève ou s'abaisse en donnant la pression au moyen d'une pédale ; en tournant une petite manivelle on fait la vis qui s'enfonce en même temps dans la chaussure et se rive sur le fer de la forme ; en agissant sur un levier à main, la vis est coupée près de la semelle.

Machine Cabourg. — Enfin la machine Cabourg est d'un système tout différent : elle est horizontale composée d'un bâti portant deux paliers qui reçoivent un arbre sur lequel est montée une grosse bobine contenant le laiton ; à la partie antérieure sont les couteaux destinés à faire les vis comme dans la machine Lemercier, le porte-forme est placé en avant et manœuvré également par une pédale, les vis sont coupées par deux lames qui viennent s'interposer entre la chaussure et le bout de l'arbre qui fait pression. Cette machine donne, comme production, à peu près la même quantité que les deux autres, les vis ne sont pas meilleures, le filet est maigre et peu profond.

Machine Maugin. — Les machines de M. Maugin fonctionnent par la transmission de mouvement en ce qui concerne la fabrication de la vis et le vissage lui-même ; mais ici, contrairement au système Lemercier, la machine à visser est fixe, et c'est le porte-forme qui s'élève ou s'abaisse au moyen de leviers articulés mis en mouvement par une pédale. Cette machine, qui n'emploie que des vis faites à l'avance, fonctionne aussi assez bien ; mais, comme la machine Lemercier, elle doit être conduite par un ouvrier expérimenté.

Si jusqu'ici on a employé quelques moyens de vissage défectueux, cela tient à ce qu'aucune bonne machine à visser n'était dans l'industrie ; car, sauf celle de la Cie générale des chaussures à vis, machine que celle-ci n'a jamais employée que pour ses propres besoins et avec tout le soin nécessaire pour qu'elle n'aille pas ailleurs, les autres qui font des vis médiocres ont pu seules entrer dans les ateliers; elles procurent d'ailleurs un vissage économique, en ce qu'elles n'emploient par paire de chaussures que pour 0 fr. 08 de laiton au plus, tandis qu'il faut pour 0 fr. 30 au moins de vis toutes faites, ce qui fait qu'au bout de la journée, si chaque machine a vissé 60 paires, l'une aura usé pour 4 fr. 50 de laiton, et l'autre aura employé pour 18 fr. de vis.

Pour la petite comme pour la grande fabrication, on doit regarder de très-près à la consommation des matières premières, et la question du bon vissage présente, comme on le voit, un double problème.

Il faut nécessairement à côté d'une bonne machine à visser un moyen de produire de bonnes vis économiquement.

M. *Duméry* dont nous avons déjà cité le nom s'occupe de nouveau de cette question du vissage. Il s'en est occupé depuis l'Exposition activement et très-utilement en créant un nouveau type de machine *à visser* avec vis préparées à l'avance. Cet outil est simple, commode, pouvant être facilement conduit par une femme ou une fillette, il convient bien à la petite fabrication, et les essais poursuivis depuis plusieurs mois dans la maison S. Dupuis et Cie sur quatre machines travaillant continuellement nous semblent concluants. Nous les avons vues et examinées de très-près, et nous avons été à même de constater que leur travail, comparé à celui des autres machines de la fabrique marchant par transmission à vapeur, est aussi bien exécuté et que leur production atteint la même quantité.

Nous mettons sous les yeux de nos lecteurs le dessin (*fig.* 11) de cette machine qui entrera bientôt dans l'industrie de la chaussure où elle est appelée à rendre des services. Pour le fonctionnement, l'ouvrière est assise sur un siége

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

élevé J, disposé de manière que ses mouvements soient complétement libres; chacun de ses pieds repose sur une pédale pendant que d'une main elle tient la chaussure et de l'autre une vis.

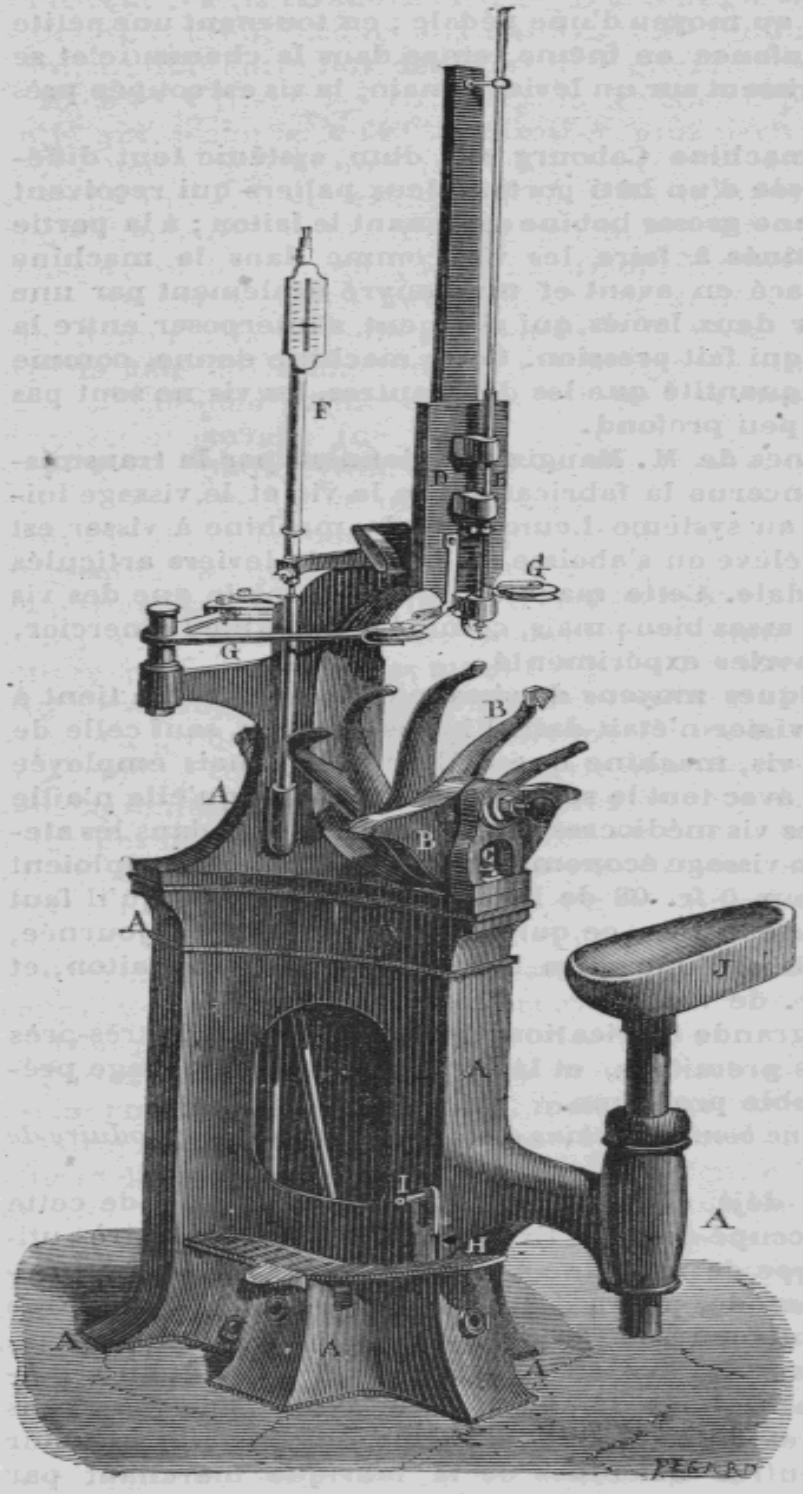


Fig. 11.

Pour visser, elle engage le soulier sur l'une des bigornes B, puis avec le pied gauche appuyant sur la pédale H elle opère la pression, c'est-à-dire l'appui d'une pièce sur la semelle dont l'intérieur porte sur la bigorne. La pression transmise peut être plus ou moins considérable selon que l'ouvrière appuie plus ou moins sur la pédale. Un dynamomètre F indique en kilogrammes cette pression et sert à la régler; elle devient alors uniforme et indépendante de la volonté de la visseuse. Peu après, l'ouvrière présente la vis et abaisse la pédale de droite qui, par une transmission funiculaire GG, fait tourner un guide fileté qui donne à la vis un mouvement de rotation et l'introduit dans la semelle ; puis, relevant d'abord le pied gauche et ensuite le droit, on recommence l'opération pour toutes les vis à placer. On a compris que le mouvement du guide fileté porte-vis E n'est autre chose que celui donné par une corde qui s'enroule et se déroule rapidement en faisant tourner la tige.

La bigorne B est multiple, comme on le voit; elle est composée de six branches terminées chacune par une forme différente qui correspond comme courbure à une partie de la semelle, point à observer scrupuleusement si l'on veut lui conserver toute sa souplesse. Le vissage, pour être solide, doit avoir lieu sur des matières sèches, sans quoi la vis se détacherait du cuir lorsque celui-ci viendrait à se sécher, car le trou, au lieu de diminuer, s'agrandirait par l'effet de la contraction de la matière, ce qu'il est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

facile de vérifier sur les chaussures faites à la main, dans lesquelles les ouvriers cordonniers bouchent les trous des chevilles en fer qui ont servi au montage par des chevilles en bois qui tombent d'elles-mêmes aussitôt que les semelles perdent leur humidité.

Ce premier problème résolu, il reste encore le second, qui consiste à faire diminuer par un moyen quelconque le prix des vis et à l'amener aussi près que possible de la valeur du laiton. Le succès de la machine n'aura lieu qu'à cette condition, car bien qu'elle possède comme visseuse des qualités qui sont le bas prix auquel elle peut être établie et vendue, et sa manœuvre facile sans apprentissage par une femme, il faut encore que le vissage, cette dépense de chaque jour, soit obtenu au plus bas prix possible.

CHAPITRE III

MACHINES A COUDRE DES ATELIERS DE COUTURE ET MACHINES SPÉCIALES.

I. — Historique.

Nous avons, dans les préliminaires (page 38), rappelé succinctement l'origine des divers types de machines à coudre qui, depuis dix ans, se sont propagés dans les usines, dans les manufactures, dans les ateliers et jusque dans les familles. Cette révolution pacifique accomplie dans l'une des branches importantes de la production, l'*Industrie de la couture*, ne doit point ici être traitée simplement au point de vue des perfectionnements que l'on a rencontrés à l'Exposition universelle. L'invention de ces machines est si récente que nous croyons, sans déroger au plan des *Études sur l'Exposition*, et par cela même qu'elles portent le titre d'Annales ou Archives de l'Industrie au dix-neuvième siècle, devoir prendre la question à sa naissance, c'est-à-dire à une vingtaine d'années en arrière de nous. L'usage de la machine à coudre date surtout en France du réveil industriel qui succéda à la révolution de 1848, car, bien que les premiers essais faits par Thimonnier soient de 1830, ce n'est que depuis 1853, ou pour mieux dire depuis l'exposition universelle de 1855, que la machine à coudre est entrée dans la production générale.

A cette époque déjà s'organisaient des fabriques pour préparer et vendre tout faits, sous le nom de confection et à des prix inférieurs, des vêtements d'homme qui avaient été jusque-là la spécialité des tailleurs, puis les vêtements de femme et la lingerie que les couturières et les lingères fabriquaient sur mesure ou sur commande. Tous ces objets de toilette auxquels on a, dès l'origine, donné le nom de confection, étaient fabriqués dans de vastes ateliers de couture, la main-d'œuvre était coûteuse, et l'économie fut cherchée dans le travail manuel, de sorte que celui-ci, très-mal fait, jeta un grand discrédit sur cette industrie naissante.

Dès l'apparition des machines à coudre on comprit leur importance : elles apportaient une économie notable sur la couture à la main, et pouvant être conduites facilement après quelques jours seulement d'apprentissage, elles furent adoptées par quelques ateliers. Le public eut bien à s'en plaindre dans le principe, car les machines à navette, encore nouvelles, ne marchaient pas avec toute la perfection désirable, ce qui leur faisait préférer les machines à point de chai-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nette dont on fit usage pendant plusieurs années à l'exclusion de toutes les autres, mais leur couture n'est pas solide et peut se défiler facilement. Les machines à point de navette furent bientôt améliorées et employées sur une plus grande échelle, parce qu'elles donnèrent une couture solide à laquelle la confection, depuis plusieurs années, doit en partie ses succès.

Les premières machines vinrent d'Amérique, puis d'autres furent construites en grand nombre, à Paris, par MM. *Callebaut* et *Journaux-Leblond* ; elles cousaient au point de chaînette d'abord et peu après au point de navette. Elles donnèrent des résultats si prompts, qu'il ne devint plus nécessaire de réunir une grande quantité de personnes dans le même atelier et que dans beaucoup de cas le travail fut dispersé et donné à la tâche à des ouvrières travaillant chez elles, condition morale infiniment préférable à celle des grands ateliers : la jeune fille devenue femme put dès lors, tout en s'occupant de son ménage, continuer à travailler et apporter son contingent de salaire qui adoucit d'autant les charges du ménage si lourdes à Paris et que les ouvriers ont tant de peine à supporter.

Des ateliers de confection, vêtement et lingerie, la machine à coudre, par suite de l'étude faite par les fabricants au point de vue de son application à divers travaux déterminés auxquels la forme des premières machines ne se prêtait pas, fit son entrée dans la manufacture pour produire en quantité considérable des ouvrages faits jusqu'ici à la main seulement.

Le nombre des machines fabriquées en France atteint un chiffre assez considérable ; mais les Américains font de constants efforts pour conserver les relations qu'ils se sont créées chez nous au moment où les premiers fabricants français se faisaient entre eux des procès ruineux, et attaquaient en contrefaçon tous ceux qui tentaient la fabrication de ces machines. Depuis que justice a été faite de ces prétentions qui avaient porté un coup terrible à la fabrication française, celle-ci, effrayée d'abord, se tint sur une grande réserve, mais elle prit bientôt son essor et fit en peu de temps des progrès considérables. On nous sera désormais tributaire pour les machines à broder à plusieurs fils, point de chaînette, de celles à surjeter et des machines à coudre le cuir au fil poissé et au point de navette.

II. — Machine à coudre au point de chaînette à un fil.

Les broderies faites au crochet dans les montagnes du Lyonnais pour les fabriques de Tarare donnèrent à *Thimonnier* l'idée de les exécuter à l'aide d'une machine qui, en même temps, lui servirait pour sa profession : il était tailleur d'habits. Cet instrument, dont le crochet était le principal outil, fut commencé en 1823 et après quatre années de travail, en 1829, l'inventeur était parvenu à construire une machine à coudre à fil continu faisant un travail pratique.

Voici quelle fut la suite de cette invention :

Le 17 avril 1830, il demande un brevet d'invention qui lui est accordé le 17 juillet, même année, pour un métier propre à la confection des coutures dites point de chaînette.

Le 8 juin et le 11 juillet 1830, Thimonnier s'associe avec plusieurs négociants de Paris pour l'exploitation de son brevet par entreprise de coutures.

Bientôt, en 1831, un atelier de quatre-vingts machines, dont il est le directeur, fut établi rue de Sèvres, mais, à cette époque les ouvriers, ne voyant dans les machines que de dangereux concurrents dont ils ne cherchaient qu'à se débarrasser, brisèrent dans un jour d'émeute les appareils à coudre ; peu après, en 1832, la mort d'un des associés amena la dissolution de la société et l'inventeur retourna à Amplepuis.

Il revint en 1834 à Paris, où il travailla à façon, comme ouvrier tailleur, avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sa machine à coudre, mais, en 1836, à bout de ressources, il retourne à son pays, à pied, sa machine sur le dos et pour vivre en route il la fait fonctionner comme objet de curiosité.

Le dessin ci-contre (*fig.* 12) montre la première machine de Thimonnier qui, quoique laissant à désirer, contenait le principe de la couture mécanique qui devait plus tard jouer un si grand rôle, elle était construite en bois et mise en mouvement par une pédale, chaque oscillation ne produisait qu'un seul point ; cependant, en 1845 elle fait deux cents points à la minute, ainsi que le constate un brevet de perfectionnement.



Fig. 12.

En 1848, *Thimonnier* est associé à M. *Magnin*, avocat à Villefranche, l'appareil prend le nom de *couso-brodeur* et fait des cordons, broderies et coutures sur toutes sortes de tissus, depuis la mousseline jusqu'au drap et au cuir et avec une vitesse de trois cents points à la minute, l'aiguille tournante permet de broder des ronds et festons sans tourner les étoffes.

Le 8 février de la même année, la nouvelle maison prend une patente anglaise pour sa machine construite en métal et avec précision. Mais la révolution arrête encore une fois les projets d'exploitation et Thimonnier va en Angleterre où il cède la patente à une compagnie de Manchester, puis revient en France, en 1849, et va habiter à Amplepuis qu'il ne quitta plus jusqu'à sa mort en 1857.

Il était utile de donner quelques détails sur l'invention de notre compatriote et les dates exactes des divers perfectionnements de sa machine que beaucoup de personnes ont pu croire jusqu'ici restée à l'état d'idée sans avoir jamais reçu d'exécution pratique, pour en porter la gloire et le mérite sur les Américains qui, au contraire, n'ont fait que suivre Thimonnier, puisqu'il est bien constaté qu'avant lui on ne trouve aucune trace de couture mécanique avec un crochet et à fil continu.

Le point de chaînette peut s'exécuter, à la machine, de deux manières différentes : d'abord à l'aide d'un crochet ainsi qu'on le fait à la main.

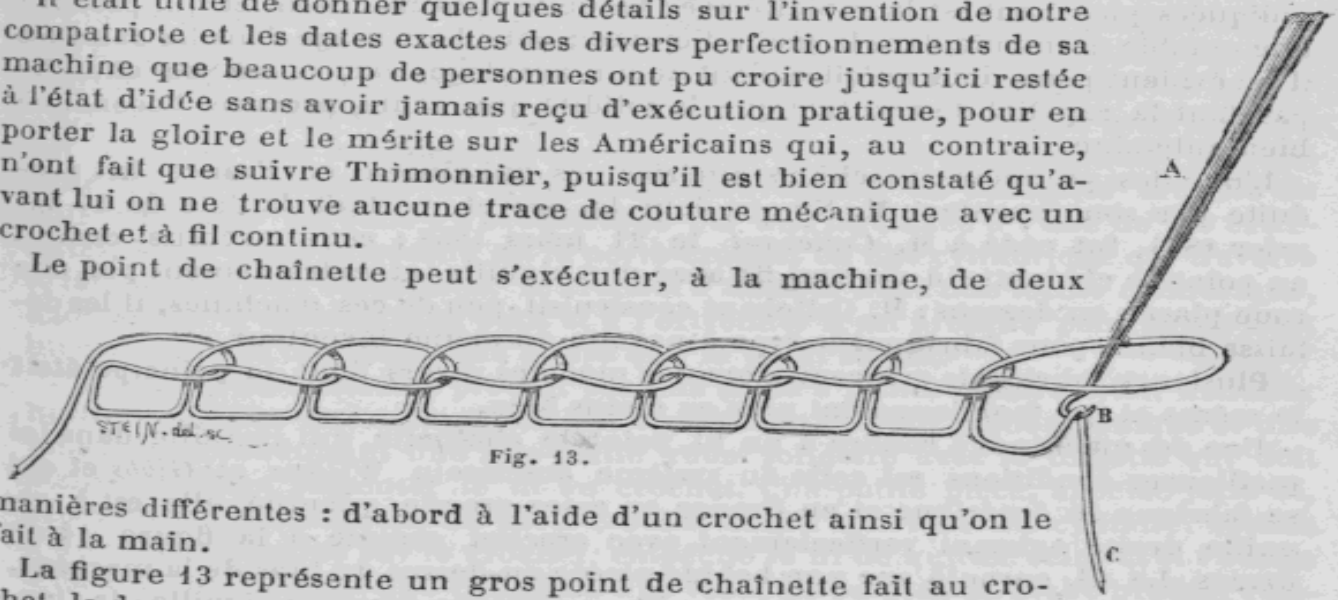


Fig. 13.

La figure 13 représente un gros point de chaînette fait au crochet, le dessous montre la piqûre et le dessus la chaînette ou broderie se composant d'une série de boucles faites, comme on le voit, par un crochet A qui traverse le tissu et va chercher le fil en B qu'il fait monter au-dessus sous forme de boucle en serrant le point précédent. La distance entre les boucles et la piqûre représente l'épaisseur des étoffes à coudre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le point de chaînette se fait aussi en fixant à la partie supérieure de la machine une aiguille qui fait va-et-vient verticalement et un crochet placé en dessous.

La figure 14 montre comment ce point, qui n'est autre que le précédent, peut se faire avec une aiguille A et un crochet B. L'aiguille, en descendant, fait former au fil une boucle qui est prise par le crochet placé au-dessous soit horizontalement, soit verticalement, lorsque l'aiguille remonte, la boucle précédente se serre et forme un point, pendant qu'elle descend de nouveau, le crochet lâche sa boucle pour en prendre une autre et ainsi de suite.

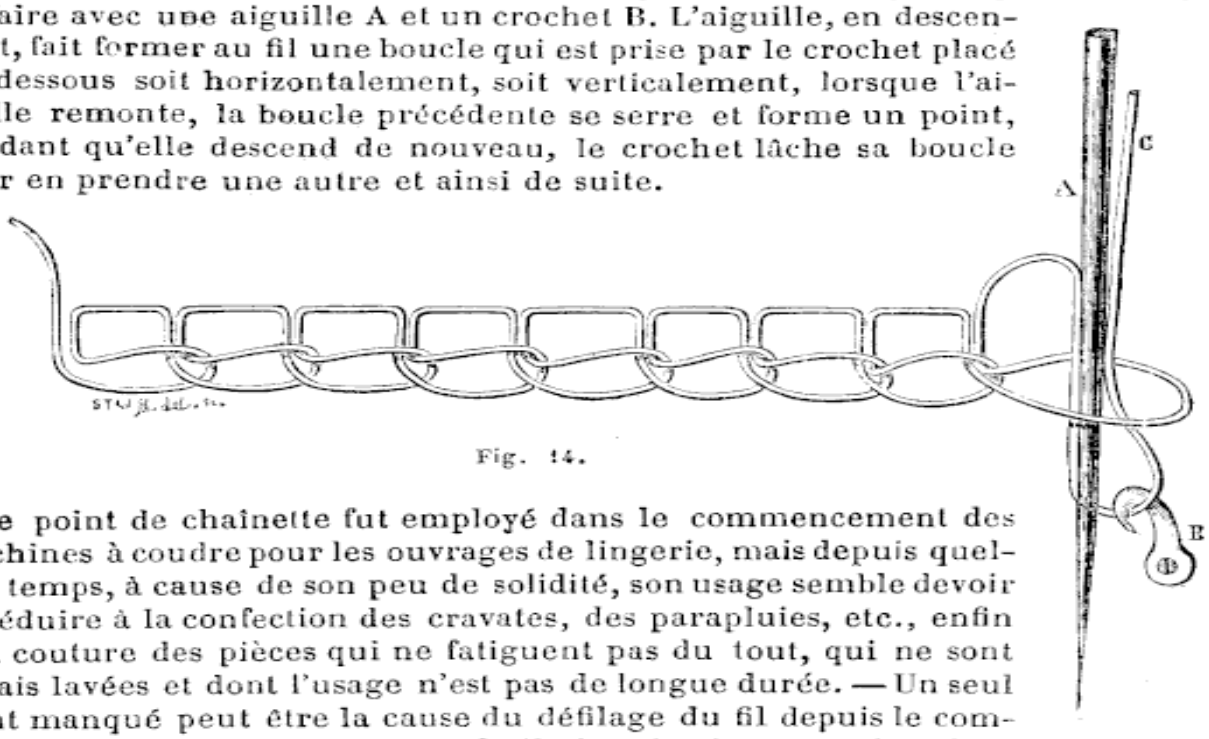


Fig. 14.

Le point de chaînette fut employé dans le commencement des machines à coudre pour les ouvrages de lingerie, mais depuis quelque temps, à cause de son peu de solidité, son usage semble devoir se réduire à la confection des cravates, des parapluies, etc., enfin à la couture des pièces qui ne fatiguent pas du tout, qui ne sont jamais lavées et dont l'usage n'est pas de longue durée. — Un seul point manqué peut être la cause du défilage du fil depuis le commencement de la couture, il est facile de voir (*fig.* 13 et 14) qu'en tirant le fil par l'extrémité C on défera la couture entièrement.

Le motif qui semble encore faire préférer ces machines pour les industries indiquées plus haut est la rapidité avec laquelle elles marchent et qui procure une notable économie dans la main-d'œuvre ; pour leur usage dans les familles il est évident pour nous qu'elles n'ont aucun avantage, car, ici on ne cherche pas tant la rapidité d'exécution que la solidité qui, seule, procure l'économie bien entendue.

L'une des premières machines américaines qui vinrent en France fut produite par son inventeur M. *Singer*, dont le brevet, portant la date du 27 février 1854, fut cédé à M. *Callebaut* le 21 mars 1855 ; cette machine cousait au point de chaînette à un seul fil avec une aiguille et entraînement par une roue placée en dessous : M. Callebaut construisit peu de ces machines, il les délaissa bientôt pour fabriquer le type à navette du même inventeur.

Plusieurs fabricants créèrent alors des modèles divers dont le principe était le même et qui fonctionnaient plus ou moins bien.

Une des machines à coudre à un fil, point de chaînette, qui travaille dans les meilleures conditions est celle du système américain *Willcox* et *Gibbs* et qui se fabrique en Amérique et en France en assez grande quantité, elle est à aiguille droite agissant verticalement avec crochet comme à la figure 14 ci-dessus. Le fil, enroulé sur une bobine placée au-dessus du bras de la machine, passe ensuite dans un anneau à la partie supérieure du porte-aiguille, la tension du fil se règle par la bobine.

La machine est montée sur une table à laquelle est fixée la pédale, la bielle et le volant qui conduit la petite roue à gorge ; elle est douce à faire fonctionner, sa vitesse peut atteindre au pied mille cinq cents points par minute et, conduite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par une transmission à vapeur, elle peut aller jusqu'à trois mille points.

Un perfectionnement récent, apporté par M. *Cornély*, donne un petit avantage aux machines de cette maison en les empêchant de tourner dans un sens inverse de leur mouvement, cet effet est obtenu par une petite balle de caoutchouc sur laquelle la roue vient buter, ce qui fait qu'elle ne peut pas retourner en arrière.

Par les machines de la maison Gritzner et Cie, chaque boucle de la couture est tordue avant que la deuxième boucle passe dans la première. Cette opération, qui semble donner un peu plus de solidité, n'empêche pas cependant qu'en tirant le fil par l'extrémité C (*fig.* 13), on ne le défasse entièrement.

Il existe un assez grand nombre de machines cousant à un fil, elles ne diffèrent guère du modèle précédent que par le crochet qui est horizontal au lieu d'être vertical et par le système d'entraînement, l'emploi de l'aiguille étant généralement adopté pour la couture. Nous ne nous arrêterons pas davantage à ces appareils, quelques spécimens de couture à un fil au point de chaînette étant produits par des machines beaucoup plus intéressantes ; nous voulons parler de la machine à coudre les semelles au fil poissé de M. *Goodwin* et de celles à broder de MM. *Bonnaz* de Paris, et *Hugand* de Charlieu (Loire).

Machine a coudre les semelles au fil poissé de M. Goodwin. — La machine à semelles, fabriquée en France depuis 1861 et exposée classe 57, est venue des États-Unis à l'état de principe et nullement propre à la fabrication à laquelle elle est actuellement destinée. M. Goodwin qui la construit depuis cette époque n'a pas cessé de l'améliorer, il est parvenu à la mettre en état d'entrer dans la manufacture de chaussures et d'y apporter une économie considérable sur la couture à la main ; dès 1862, cette machine rendait déjà des services sérieux, mise en comparaison à l'exposition de Londres avec une machine américaine d'invention récente, elle lui fut supérieure et depuis cette époque son application à la chaussure donne d'excellents résultats.

Le nombre des organes dont elle est formée est extrêmement réduit et ils sont disposés de manière à rendre faciles les mouvements de la machine. Une explication succincte suffira pour en faire comprendre la marche.

Elle se compose d'une table sous laquelle est l'arbre moteur portant un volant que l'on peut faire tourner soit à la main ou par une pédale, soit par une transmission à vapeur ; cet arbre porte une came et un excentrique.

Le bâti, posé sur la table, est composé d'une grosse colonne avec laquelle fait corps un bras horizontal creux en fonte et la tête de la machine ou tambour mobile renfermant les organes du mouvement. Le balancier articulé au milieu du bras est relié à l'excentrique par une tige fixée à l'une de ses extrémités, à son autre extrémité est le porte-crochet ou tige cylindrique qui traverse le tambour et sort en dessous, le crochet a dans le haut une forme cylindrique, dans le bas il devient plus petit et à l'extrémité il est presque pointu, car c'est lui qui perce le cuir en même temps que le point se fait.

Un second mouvement, produit par une came à rainure latérale, fait marcher horizontalement une crémaillère qui commande un petit pignon conique et une longue tige conduisant une très-petite roue solidaire avec la molette qui doit à chaque point présenter le fil au crochet. Une petite pièce, appelée jette-fil, recevant son mouvement du porte-crochet dans l'intérieur du cylindre, appuie à un moment donné sur le crochet, empêche le fil de quitter celui-ci et l'oblige à former une boucle. Une troisième tige verticale ou pied-de-biche produit l'entraînement et règle la longueur du point, son mouvement est déterminé par une plaque dans laquelle elle passe et qui se déplace par l'effet d'une bague chanfreinée dont la hauteur variable sur le porte-crochet limite sa course. La bobine à fil poissé est placée sous la table et serrée par un resort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, pour changer la direction de la couture et faire des contours, on tourne la tête ou cylindre : ce mouvement déplace le pied-de-biche qui prend toutes les positions que l'on veut lui donner, en même temps qu'il fait glisser la came sur l'arbre, celle-ci fait produire à la molette présentant le fil un mouvement relatif au déplacement du pied-de-biche, on peut ainsi faire suivre à la couture les dessins les plus compliqués.

Cette machine spécialement combinée pour la couture des semelles remplit parfaitement son but, elle peut coudre jusqu'à 15 millimètres d'épaisseur ; le point de piqûre se trouve à l'intérieur et la chaînette à l'extérieur, ce qui oblige à faire une rainure profonde sur le bord de la semelle afin de loger le point ; les talons sont ou vissés ou cloués.

Ce mode de couture, quoique donnant de bons résultats, n'a point été adopté par le gouvernement français pour les chaussures des troupes dont la semelle continue à être cousue à la main, les talons et la cambrure étant vissés par des machines Lemercier dont nous avons parlé précédemment, mais il est employé par des industriels importants parmi lesquels on peut citer M. Trotry-Latouche qui possède dix-sept de ces machines, M. A. Godillot, MM. Fanien, M. Legrand, etc., etc., qui s'en servent avec avantage pour les chaussures fortes et légères. Elles sont également en usage pour la confection des chaussons en lisière.

La différence de main-d'œuvre des chaussures à la main avec celle des machines est considérable : les grosses chaussures de troupes, dont la couture est payée 0f,45 à la main, ne reviennent, cousues à la machine, qu'à 0f,05 la paire.

Les chaussures d'hommes, de force ordinaire, dont un ouvrier fait à peine une douzaine à la main, sortent de la machine conduite par un bon ouvrier au nombre de douze à quinze douzaines de paires par journée : un excellent ouvrier peut produire jusqu'à vingt douzaines de chaussures légères en un seul jour.

Il est très-facile de réparer à la main les chaussures cousues à la machine, mais il n'est pas toujours possible de réparer à la machine les chaussures faites à la main, il faut pour cela que la première semelle soit assez large et c'est ce qui n'arrive pas toujours.

Enfin, cette machine, quoique fonctionnant bien, n'est cependant pas parfaite, et son emploi n'est économique que lorsque l'on a à coudre un grand nombre de pièces semblables, car il y a impossibilité d'augmenter notablement, pendant la marche, l'épaisseur de la couture, de la doubler, par exemple ; on est obligé, pour cela, de donner plus de course à l'aiguille en augmentant l'amplitude des arcs du balancier ; ainsi, si l'on coud des chaussures à double semelle, on ne pourra les faire d'une seule fois que si la deuxième semelle est moins forte que la première ; alors on la taille en biseau pour la raccorder avec cette première, autrement, il faudrait d'abord coudre les deux semelles ensemble et puis revenir, après avoir réglé la course, coudre la cambrure.

La machine en usage aux États-Unis rachète cet inconvénient par un mécanisme compliqué qui la rend sujette à des dérangements fréquents ; néanmoins, elle est employée en nombre assez considérable.

La machine de M. *Goodwin* est encore d'un usage fort restreint, cependant ses résultats valent bien, et au delà, les semelles collées et clouées qui se fabriquent en France en si grande quantité. On peut espérer que, dans un avenir prochain, elle remplacera en grande partie ces fabrications défectueuses de chaussure, qui n'ont eu la faveur du public qu'à cause du bas prix auquel ces moyens permettaient de les établir.

Machine a broder de M. Bonnaz. — Cette machine est du système à crochet, elle exécute le point de chaînette en dessus, ainsi que le montre la figure 13 et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une piqûre ou arrière-point en dessous ; ce qu'elle présente de particulier qui la rend propre à être employée pour la broderie est son *entraînement universel* qui a lieu sans avoir à toucher à l'étoffe : en effet, en tournant une petite manivelle placée sous la table, on communique un mouvement de rotation relatif au porte-aiguille, à l'accrocheur qui présente le fil et à la griffe qui entraîne l'étoffe et règle la longueur du point ; on peut ainsi faire des points autour d'un cercle et l'entraînement se fait en suivant ce même contour.

Le principe de cette machine est contenu dans le brevet pris le 5 août 1848 par *Thimonnier* et *Magnin* pour un couso-brodeur dans lequel une aiguille tournante permet de broder des ronds et festons sans tourner l'étoffe ; ce principe n'avait pas reçu de ses inventeurs une solution suffisamment pratique, l'aiguille recevait son mouvement d'engrenages conduits par des ressorts qu'il fallait retendre tous les trois tours. M. *Bonnaz* s'est occupé de cette question, et il est arrivé à force de recherches et d'essais à construire une machine faisant un travail pratique, et pouvant dès lors rendre des services à la broderie de fabrique qui n'utilise que le point de crochet ou chaînette ; elle est particulièrement employée dans la broderie de rideaux.

M. *Bonnaz* a remédié à l'inconvénient de la marche rapide par pédales, qui ne permettait pas à l'ouvrière de suivre le dessin dans le cas de contours très-accentués, en plaçant un débrayage qui, manœuvré avec le pied gauche, arrête tout le mouvement de la broderie, tandis que la pédale de droite continuant à fonctionner fait marcher seulement le volant.

Machine a broder de M. Hugand. — Cette machine représente certainement le type le plus complet qui ait été conçu et exécuté jusqu'ici pour broder. M. *Hugand*, compatriote de Thimonnier, fut amené, dès 1854, à combiner une machine, parce que, dans son pays, la broderie au point de chaînette est l'occupation ordinaire de tous les habitants, jusqu'aux bergères qui, en gardant leurs troupeaux dans les montagnes, brodent des bandes qui viennent sur le marché par l'intermédiaire des négociants de Tarare et de Lyon.

C'est, sans doute, après avoir étudié les systèmes de ses devanciers qu'il réussit à créer un type de machine destiné spécialement à la broderie et qui fut par son principe même susceptible de perfectionnements capables de donner des résultats curieux qu'on ne soupçonnait pas avant lui.

La base de la machine repose sur l'emploi du crochet recevant un mouvement vertical et accrochant les fils que vient lui présenter un porte-bobines tournant pouvant contenir un nombre quelconque de bobines et ayant à son centre, recevant les fils, un tube excentré par rapport au crochet, de sorte que celui-ci soit entouré par le fil qui passe devant lui dans le mouvement du porte-bobines ; sa vitesse de rotation est essentiellement variable et peut prendre telle proportion que l'on veut relativement au mouvement du crochet, par le simple changement des rapports des diamètres des engrenages qui commandent ces deux organes importants.

Pour travailler à plusieurs crochets, le porte-bobines tournant est remplacé par un porte-bobines fixe auquel est articulé, en son milieu, un système de plusieurs fourchettes recevant d'une came placée en bas un mouvement qui fait décrire au fil sortant par le haut un cercle autour du crochet : ainsi se produit l'accrochage de plusieurs fils à la fois. Un système de jambettes articulées distribue de diverses manières des fils, cordons ou laines qui sont appliqués par la chaînette. Enfin, des excentriques simples et doubles de diverses formes et un système d'embrayage et de débrayage permettent d'obtenir facilement des points de broderie très-variés et une sorte de passementerie en usage pour les garnitures des vêtements de femme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'objet spécial qui rend commode l'usage de la machine et son application aux broderies des dessins les plus compliqués est un très-grand plateau sur lequel on place l'étoffe à broder que l'ouvrière déplace avec une extrême facilité et qui lui permet de suivre très-exactement les contours les plus capricieux. Le mouvement est conduit à la main par une manivelle, la marche brusque et rapide d'une pédale ne permettant pas de suivre les contours des dessins assez exactement.

Cette machine exécute d'une manière remarquable les travaux de broderie industrielle applicable aux blouses, rideaux, ombrelles, gants, etc., et trouve également son emploi dans la confection des vêtements de femme de toutes sortes; sa broderie peut s'exécuter aussi bien sur la peau, le drap, le velours, la soie et tous autres différents tissus que sur le tricot; enfin, son point imite le travail à la main des applications de dentelle.

Les organes spéciaux appliqués à cette machine permettent d'obtenir les points et effets très-variés qui sont énumérés ci-dessous; ainsi, on peut faire :

1° Avec un seul fil le point de chaînette en dessus; la piqûre ou arrière-point en dessous.

2° Avec 2, 3 ou 4 fils et plus à volonté, quel qu'en soit le nombre, une chaînette en dessus à points alternés, ces points sont formés successivement par des fils de couleurs différentes, le dessous est un cordon ou torsade comprenant tous les fils et qui forme aussi une sorte de broderie que l'on peut faire sur lingerie avec du gros fil et pour imitation de l'application d'Angleterre avec du fil à dentelle n° 300.

3° On peut appliquer une soutache avec cordon ou arrière-point au milieu.

4° Point perlé ou point nouveau formé d'une chaînette à deux fils de couleur différente et de deux autres fils que l'on applique sur le tissu et qui y sont fixés par l'un des points de la chaînette.

Par le changement du porte-bobines tournant en un porte-bobines fixe portant des fourchettes et un mode d'accrochage différent, on obtient :

5° Une broderie à deux, trois ou un plus grand nombre de traits parallèles, arrière-point en dessous.

6° Application de soutache avec arrière-point sur chaque rive et même au milieu.

7° Chaînette à un fil à points alternés avec un nombre quelconque de points de chaque couleur se suivant au gré de l'ouvrière.

8° Point de chaînette cousant une soie ou laine dépassant de chaque côté d'une quantité quelconque et formant une sorte de passementerie.

9° Point de chaînette à trois traits fixant, par un trait de chaque côté et un au milieu, une laine ou soie distribuée par la machine; en variant les couleurs on obtient une passementerie d'un très-joli effet.

10° Les trois traits de la chaînette qui appliquent la soie ou laine peuvent être sur le même bord et très-rapprochés; on obtient ainsi une sorte d'effilé.

L'indication que nous avons donnée précédemment des organes principaux de cette machine, et la nomenclature des travaux qu'elle peut exécuter permettent aux personnes initiées à ces machines de s'en faire une idée; mais un instrument de cette importance mérite mieux qu'une note sommaire, aussi sommes-nous heureux de pouvoir offrir à nos lecteurs, que ce travail intéresse, un dessin sur lequel ils pourront suivre la description plus détaillée que nous allons faire, et voir par quel jeu les organes de cette machine produisent les différents points dont nous avons parlé. Nous examinerons successivement les mouvements du crochet, celui du porte-bobines tournant qui produit l'accrochage; enfin, celui de l'entraînement et du plateau porte-étoffe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La manivelle A, par l'intermédiaire de deux roues d'engrenage, donne le mouvement à un arbre B portant quatre cames, dont chacune fait mouvoir un des leviers C, à l'aide des galets D, l'autre extrémité de ces leviers appuie sur des coulisseaux E,F,G,H, et les oblige à descendre avec un mouvement en rapport avec la forme des cames, chacun de ces coulisseaux remplit un but spécial, ainsi que nous le verrons bientôt; des ressorts plats et longs, qu'on ne peut apercevoir sur le dessin, ont une extrémité fixée au bâti sous les leviers, et l'autre entrée dans une ouverture pratiquée aux coulisseaux, qu'ils font remonter en suivant comme pour la descente les mouvements donnés par les cames.

Les coulisseaux sont les organes propres du travail: ainsi le coulisseau F conduit le porte-crochet, le coulisseau E, par une pièce en retour d'équerre *r*, porte l'onglet ou partie tubulaire, dans laquelle passe l'aiguille; cet onglet vient presser l'étoffe au moment où le crochet descend, puis il remonte, et par un deuxième mouvement, il presse encore l'étoffe et ne se relève que lorsque le

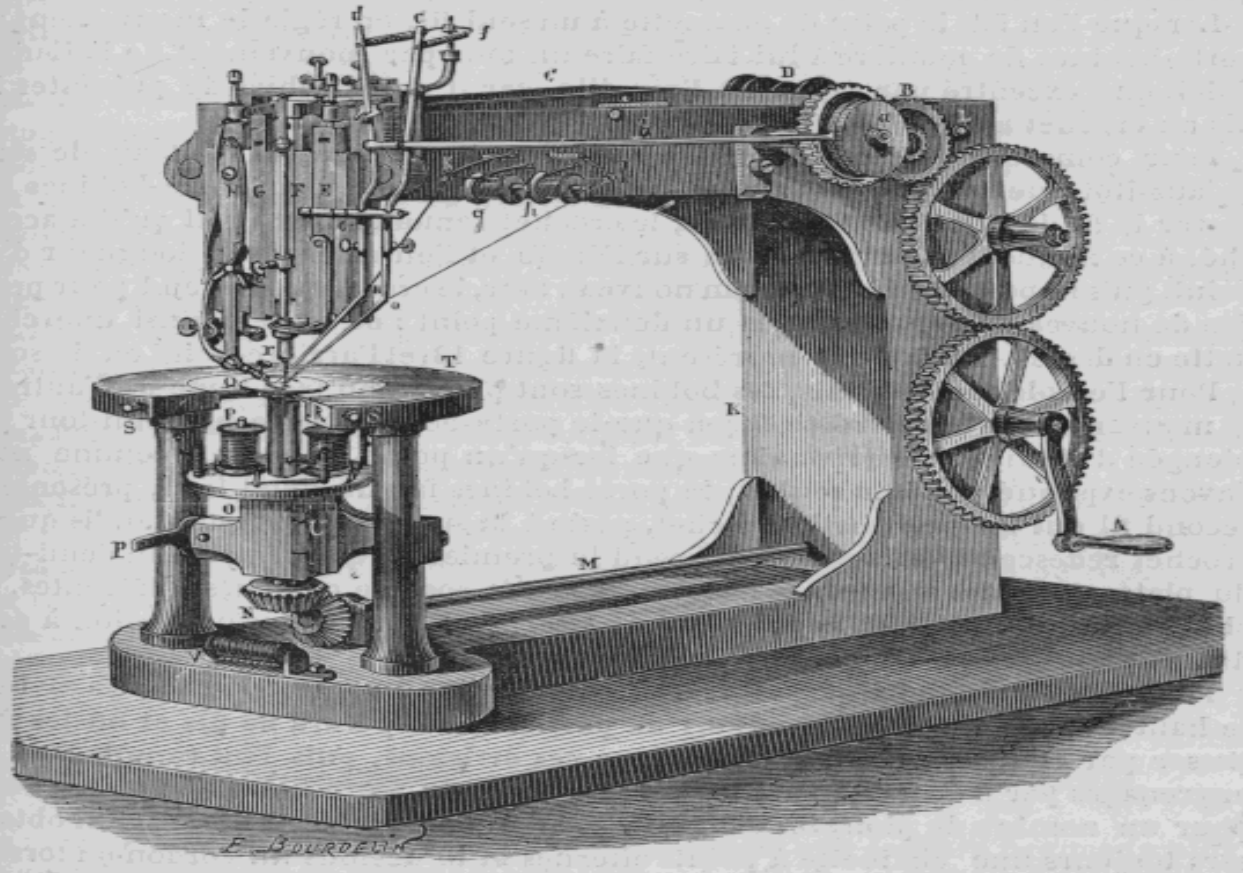


Fig. 15.

crochet est entièrement remonté avec le fil; il possède donc deux mouvements tandis que l'aiguille n'en a qu'un seul.

Le mouvement des coulisseaux G et H est combiné ensemble pour faire produire à la griffe un mouvement de soulèvement et de recul, qui produit l'entraînement du tissu, on règle à volonté la longueur du point, de même que lorsqu'on change le travail, il est très-facile de relever la griffe, qui est articulée comme le montre le dessin.

La petite plaque de travail Q est fixée à une autre plaque, qui se raccorde avec le plan de l'arc T et que l'on centre par les vis de pression S,S.

Le mouvement de l'arbre B est communiqué à l'arbre L par deux engrenages

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

droits placés de l'autre côté du bâti ; un arbre vertical reçoit son mouvement de l'arbre L à l'aide de deux pignons coniques et le transmet, dans le bas, à l'arbre M, puis, par l'intermédiaire de deux pignons N, au porte-bobines.

Le pignon N est monté sur un arbre qui reçoit le porte-bobines O ; cet arbre tourne dans un coussinet contenu dans une boîte U en fonte fixée aux deux petites colonnes, cette boîte s'ouvrant par une porte à charnières *p* permet de retirer le coussinet et le porte-bobines et d'en arranger les fils plus commodément. Le porte-bobines tournant peut recevoir un nombre illimité de bobines, qui sont, telles que P, montées sur des axes. D'autres axes reçoivent, les uns des ressorts à boudin servant de tendeurs aux fils et les autres des ressorts qui portent sur la gorge des bobines pour les empêcher de se dérouler trop facilement. Enfin un grand plateau circulaire, que l'on n'a pas pu représenter parce qu'il aurait caché le porte-bobines, est destiné à recevoir le travail et à être déplacé continuellement par l'ouvrière qui le manœuvre aisément et fait suivre à l'aiguille tous les contours des dessins.

Lorsque l'on fait le point de chaînette à un seul fil, on règle le mouvement du porte-bobines de manière à lui faire faire un tour par mouvement de l'aiguille, il doit être excentré par rapport à l'aiguille, car il a pour objet de présenter les fils au crochet au bord intérieur de droite du tube central.

Pour commencer à coudre, il faut régler la position du plateau de sorte qu'aussitôt que l'aiguille est descendue, le mouvement du porte-bobines fait passer le fil devant elle et l'entoure, le crochet remonte avec le fil qu'il a accroché, à ce moment la griffe appuie sur l'étoffe et l'entraîne de la longueur d'un point, puis le porte-bobines fait un nouveau tour, le crochet redescend pour prendre de nouveau le fil et former un deuxième point : on obtient ainsi une chaînette en dessus, telle que la représente la figure 13, et l'arrière-point en dessous.

Pour l'emploi de deux fils, les bobines sont placées en face l'une de l'autre et le mouvement est modifié de façon que le porte-bobines fasse un demi-tour par plongée d'aiguille, il arrive alors que lorsqu'un point est formé comme nous l'avons expliqué pour un seul fil, le porte-bobines fait un demi-tour, présente le second fil qui est pris par le crochet, passe à la surface et y reste, tandis que le crochet redescend de nouveau et prend le premier fil qu'un nouveau demi-tour du plateau a ramené en face ; si les deux fils sont de couleurs différentes, on obtient en dessus une chaînette à points alternés et en dessous un cordon à deux fils.

Pour obtenir une chaînette à 3, 4 ou un plus grand nombre de fils, on divisera le haut du tube central en autant de parties qu'il y aura de fils et on les fera passer par chacun des trous percés sur ces divisions, puis l'on remplacera les engrenages par d'autres qui réduiront la vitesse du porte-bobines à un seul tour pour un nombre de plongées d'aiguille égal au nombre de fils ; le point obtenu sera toujours une chaînette à points alternés et le dessous un cordon ou torsade de différentes couleurs.

Si l'on fait passer la soutache, enroulée sur la bobine V, par un trou percé à la plaque Q près de celui du crochet, elle sera appliquée sur le tissu par la couture qui sera un arrière-point si l'on n'emploie qu'un fil, ou une torsade si l'on en emploie plusieurs.

On obtient, à l'aide d'un petit mouvement, accessoire à cette machine, un point perlé d'un très-bel effet, formé par deux autres fils appliqués sur l'étoffe et fixés par la chaînette de deux en deux points. Un petit pignon monté sur l'arbre B donne le mouvement à l'arbre *a*, portant deux plateaux à excentrique qui font mouvoir, par l'intermédiaire des bielles *b*, *b*, deux jambettes *c*, *d* articulées en *e* et rappelées par des ressorts fixés aux extrémités d'un palonnier articulé *f*, les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bobines *g*,*h* contiennent les fils qui sont tendus par les ressorts *k* et *l*, et qui de là se rendent en *n*,*o*, passent en dessus et arrivent aux pieds qui les distribuent autour de la chaînette. Celle-ci peut être faite à deux fils de couleurs différentes, l'un de ces fils applique la soie ou la laine fournie par ce mouvement, tandis que le point de l'autre fil de couleur différente forme comme une perle renfermée dans un cercle. Le dessous est un cordon ou torsade à deux fils.

M. Hugand est encore l'inventeur d'un mode d'accrochage qui permet à plusieurs crochets de fonctionner en même temps et parallèlement ; on obtient ce résultat en remplaçant le porte-bobines tournant par un porte-bobines fixe auquel sont articulées des fourchettes. A la place du pignon N, on met un cylindre cannelé qui conduit la fourchette suivant un cercle ; ce mouvement se reproduit à la partie supérieure percée d'un trou par lequel sort le fil qui entoure le crochet au moment où il remonte et se trouve ainsi entraîné ; tout ce qui est relatif au mouvement de l'aiguille et à l'entraînement de l'étoffe fonctionne de la manière dont nous l'avons expliqué précédemment; si la fourchette est double ou triple, chaque branche correspond à une aiguille, et l'on coud ainsi à deux ou trois aiguilles qui font deux ou trois traits parallèles : on ne peut pas faire de broderies avec des contours brusques, mais on peut obtenir très-facilement des contours de moins d'un centimètre de diamètre. On peut appliquer de la soutache en faisant une piqûre au milieu de sa largeur et sur ses deux bords. On peut aussi, en distribuant avec une jambette une soie ou un cordon de laine, obtenir une passementerie dont les trois rangées de piqûres peuvent être au milieu, ou bien sur un seul bord, ou encore un rang au milieu et les deux autres sur chaque bord.

Enfin on peut encore, en employant un seul crochet et deux fourchettes mises en mouvement par un cylindre à deux cannelures, embrayer l'une ou l'autre de ces fourchettes, à volonté, à l'aide d'un châssis à coulisse, de sorte que si elles portent chacune un fil de différente couleur, on pourra faire un certain nombre de points de chaque nuance sur la même chaînette.

Tels sont les différents organes de la machine Hugand et les points qu'ils exécutent et qui sont en usage non-seulement dans la broderie industrielle, mais encore dans l'ornementation des vêtements de femme : broderies de robes, jupons avec passementerie, chemises et chemisettes en flanelle, coiffures en tricot, sorties de bals ; enfin les imitations de l'application d'Angleterre, etc., etc., donnent une idée des nombreux ouvrages que peut faire cet ingénieux instrument qui fait le plus grand honneur à son inventeur.

III. — Machine à coudre au point de chaînette à deux fils.

Le point de chaînette double ou à deux fils donne une couture beaucoup plus solide que la chaînette à un fil dont nous avons parlé, il est difficile de la défaire, on y parvient cependant en tirant en même temps les deux fils et dans un sens déterminé, autrement on serrerait les points. Le point produit en dessus une piqûre parfaitement régulière et en dessous une double chaîne, sorte d'enlacement des deux fils qui forme broderie si elle est faite en gros cordonnet ou en laine.

La figure 16 ci-après montre ce point : le fil du dessus, indiqué par deux traits, exécute la piqûre, tandis que le plus gros, tracé noir, enlaçant le premier en dessous, exécute la double chaîne.

La machine qui fait le mieux ce point est celle de l'invention des Américains *Grover et Baker* (1851) construite en France par la maison *Goodwin*, qui s'en fait une spécialité. Elle est composée de deux aiguilles, l'une un peu courbée A, agissant verticalement, reçoit son fil d'une bobine placée sur la machine, l'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aiguille B, placée sous la plate-forme, est curviligne et exécute un mouvement circulaire alternatif, le point se fait tel que le représente la figure 16; le mouvement très-simple qui conduit l'aiguille curviligne et celui de la griffe d'entraînement sont placés sous la table, celui de l'aiguille courbe est seul au-dessus. Cette machine fait bien la couture de la lingerie fine et semble spécialement destinée à ce travail, car, quelle que soit la finesse de la mousseline ou de la batiste employée, on obtiendra forcément d'un côté la piqûre et de l'autre la double chaînette ; elle a pour ce travail une supériorité marquée sur la machine à navette, parce que, dans celle-ci, bien que le croisement des deux fils doive se trouver au milieu de l'épaisseur des étoffes à coudre, il est le plus souvent soit en dessus, soit en dessous, sous la forme d'une côte formée par l'un des fils (voir *fig.* 22 et 23) : la piqûre est ainsi intermittente et perd beaucoup de sa solidité.

Enfin, cette machine, par ses usages multiples, est spécialement destinée à la famille, puisqu'elle fait également bien les ouvrages de toilette et de lingerie, on peut même exécuter dessus quelques ouvrages de broderie, quoique l'entraînement en dessous ne permette pas de suivre des contours trop variés ; nous ne voulons pas la citer pour une machine à broder : il est très-facile de voir que le point enlacé, qui produit la broderie, se fait en dessous, et par conséquent dans des circonstances défavorables. Mais il est juste de dire que l'on peut obtenir assez facilement de belles broderies en relief pour biais et autres garnitures de vêtements de dames. La solidité du point est parfaitement suffisante pour le peu de fatigue qu'éprouvent d'ordinaire les objets de toilette.

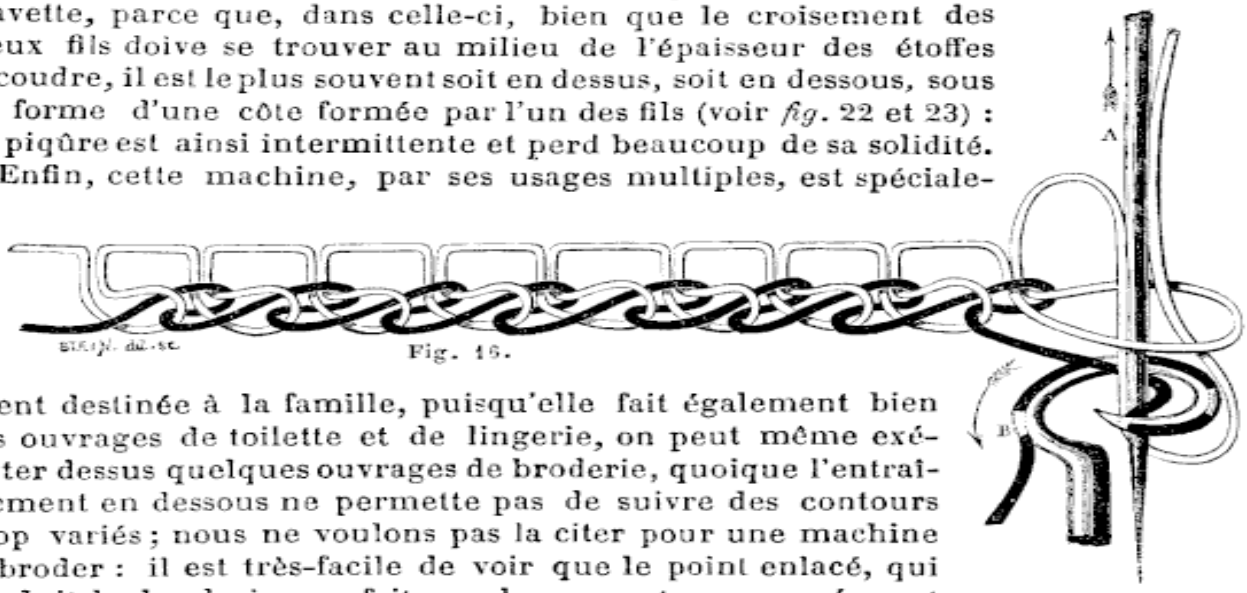


Fig. 16.

Elle est aussi employée dans les ateliers de confection; mais là, où l'on compte tout, la dépense en fil est plus considérable que dans les autres machines à deux fils, elle est de 5^{m},50 à 6^{m} par mètre de couture.

Beaucoup de fabricants construisent des machines à deux fils faisant la double chaînette, quelques-unes ont même leurs organes disposés pour marcher à volonté à un ou à deux fils; pour coudre à un fil, le crochet prend la boucle et l'entraîne jusqu'à ce que l'aiguille soit revenue piquer, tandis que pour faire la chaînette à deux fils, le deuxième crochet, que l'on met à la place du précédent, est percé près de sa pointe et reçoit un deuxième fil destiné à produire l'enlacement du dessous.

Parmi les machines de ce système, celle qui semble la plus simple et qui nous a paru donner les meilleurs résultats, est construite par MM. *Aubineau et Bouriquet*; cette machine, au lieu d'avoir deux crochets distincts dont la pose, confiée à l'ouvrière, est souvent mal faite, a *un crochet double articulé en son milieu*.

Les figures 17 et 18 montrent ce crochet disposé pour coudre à un seul fil point de chaînette; la partie *a* est, comme on le voit, préparée pour la couture à un fil, pendant que le côté *b*, destiné à faire la couture à deux fils, est en dessous, ce crochet porte une douille *c*, il est articulé sur une vis *d* fixée à une pièce *e* en retour d'équerre. Le galet *f* roule sur la courbe dont la forme combinée avec le mouvement d'un levier *h*, articulé en son milieu et recevant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un mouvement de va-et-vient à son autre extrémité, produit un déplacement du crochet qui le fait reculer en évitant la rencontre de l'aiguille *l* lorsqu'elle est encore piquée ; la forme du crochet élargit beaucoup la boucle et la prépare au passage de l'aiguille qui serre le point et forme le suivant ; nous avons dit que le crochet était mobile autour de la vis *d*, mais il est retenu dans la position

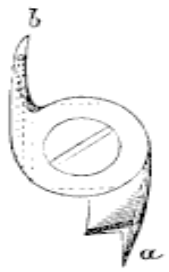


Fig. 17.

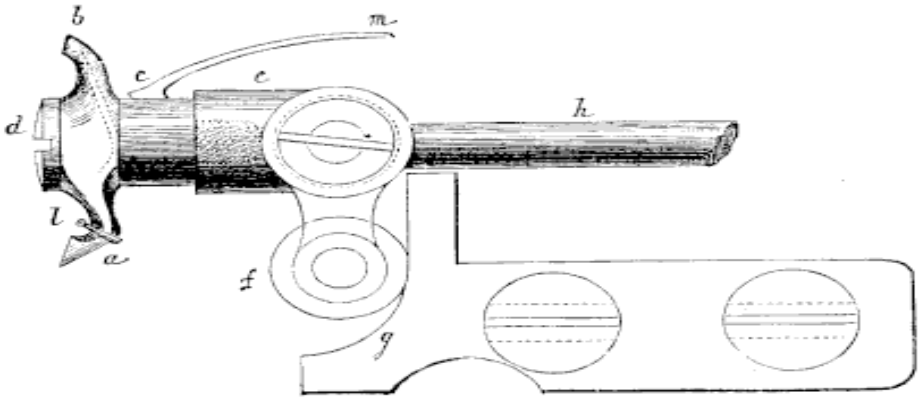


Fig. 18.

qu'il doit occuper pendant le travail par un ressort *m* portant sur un plat *c* de sa douille.

Lorsqu'on veut coudre avec deux fils, il suffit, par un petit effort, de tourner avec la main le crochet qui prendra la position qu'il occupe sur les figures 19 et 20 ; l'aiguille, comme dans le cas précédent, pique en *l* et la pointe *b* entre dans la boucle ; le second fil *n* vient d'une bobine placée sous la table de la machine, passe dans une fente ou rainure que porte le crochet, ainsi qu'on le voit, et sort par un trou percé près de sa pointe *b* ; le mouvement de cette partie du crochet est exactement le même que pour le côté à un fil ; la figure 20 montre bien que lorsque le crochet se retire l'aiguille encore piquée arrête le fil *n* qui est pris par la boucle de l'aiguille *l* au moment où elle échappe le crochet, ce qui produit l'enlacement des deux fils donnant, comme la machine Grover et Baker, un double point de chaînette ; l'entraînement a lieu en dessus par une griffe articulée, ce qui fait qu'elle peut exécuter assez facilement la broderie, puisque le déplacement du tissu peut s'opérer sans difficulté. Cette machine, pour bien fonctionner, doit être construite avec soin et parfaitement réglée, et celles que nous avons vues sortant de chez MM. *Aubineau et Bouriquet* ne laissaient rien à désirer sous le rapport de la fabrication et du travail qu'elles exécutaient.



Fig. 19.

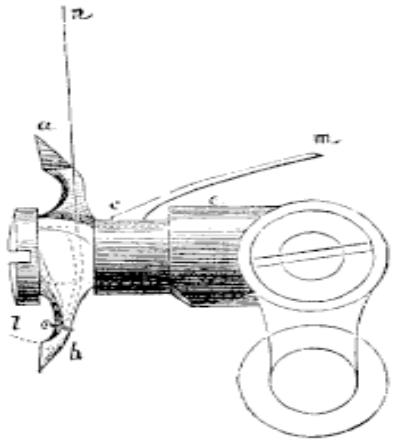


Fig. 20.

IV. — Machines à coudre au point de navette.

Le point de navette est toujours employé en dehors des applications spéciales et nécessairement restreintes dont nous avons parlé ci-dessus : soit dans la lin-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gerie, le vêtement, la chaussure, la chapellerie, le corset, l'équipement militaire, la sellerie, les articles de voyage, enfin tous les objets en peau.

Le point de navette, lorsque les fils sont bien réglés, produit une piqûre de chaque côté des étoffes que l'on coud, et le croisement des fils a lieu au milieu de leur épaisseur.

La figure 21 montre une couture très-forte exécutée au point de navette, le



Fig. 21.

fil du dessus est celui de l'aiguille et celui du dessous vient de la navette ; à l'inspection du dessin, on comprend la solidité d'une semblable couture faite avec du fil ou de la soie et dont les points sont rapprochés ou éloignés à volonté, de même que les fils peuvent être plus ou moins serrés suivant les besoins. Dans la machine qui fait cette couture, la tension des fils joue un grand rôle, on peut en juger par les deux figures ci-dessous.

Dans la figure 22, le fil de la navette, trop peu tendu, est entraîné par le fil



Fig. 22.

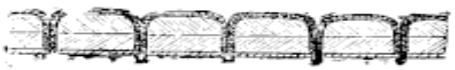


Fig. 23.

de l'aiguille qui l'est trop et qui forme, comme on voit, une ligne droite au-dessus des étoffes. La figure 23 montre une couture dans laquelle le fil de la navette est très-tendu, le fil de l'aiguille ne l'étant pas assez; ce dernier est entraîné à travers le tissu et vient ressortir à cheval sur le fil de la navette qui se développe en ligne droite ; il est bien certain que cette couture et la précédente ne présentent aucune solidité, puisque, tirant le fil qui est en ligne droite, l'autre n'offrira plus aucune résistance et pourra se défiler facilement. C'est cet effet qui se produit le plus souvent dans les coutures des étoffes de mousseline excessivement minces, dans l'épaisseur desquelles il est pratiquement impossible de faire rencontrer le croisement des fils, qui a dès lors lieu, soit en dessus, soit en dessous, et qui est d'un vilain effet.

Le croisement dès deux fils a été dès longtemps l'objet des études des personnes qui se sont occupées de machines à coudre. En 1834, *Walter-Hunt*, de *New-York*, construisait une machine à deux fils conduits par une aiguille et une navette, mais il ne parvint pas à coudre et abandonna son idée. Le croisement, figure 21, a été obtenu, en 1846, par E. Howe, à l'aide d'une machine à deux fils : l'un d'eux était conduit par une aiguille dont le trou se trouvait près de la pointe et l'autre était contenu dans une navette à peu près semblable à la navette du tisserand. Tel est le principe du brevet américain E. Howe, du 10 septembre 1846, qu'il convient de dégager des améliorations et perfectionnements dont la machine primitive, que nous présentons, a été l'objet ultérieurement.

Tout le mérite d'Élias Howe jeune réside, croyons-nous, dans la combinaison des organes de cet appareil, qui, bien que rustique et incomplet, contient le principe du point de navette exécuté pratiquement.

Nous ne voulons pas pousser plus loin l'historique des machines à coudre, car, pour être complète, elle serait trop étendue pour trouver place ici et nous nécessiterait de trop longues citations.

Quoi qu'il en soit, on doit reconnaître qu'à dater de la construction de la machine Howe, les chercheurs de systèmes de couture mécanique sont entrés dans une nouvelle voie, car quelques années plus tard, on comptait plusieurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machines faisant un très-bon usage et qui sont encore aujourd'hui classées parmi les meilleurs types : tels sont les systèmes *Wheeler et Wilson* et *Grover et Baker*.

La machine rudimentaire, représentée figure 24, avait, comme on le voit, ses organes de mouvement en dessus. La roue R faisait tourner l'arbre A, et les cames B donnaient à chacun des organes de l'appareil, aiguille et navette, son mouvement particulier, l'entraînement lui-même ainsi que le tirage des fils était prévu, la bobine C contenait le fil de l'aiguille, le second était renfermé dans la navette conduite par une bielle à mouvement irrégulier. Ces organes disposés convenablement produisirent une couture dans du drap. Le principe était trouvé, mais la machine n'était pas d'un usage courant ; Howe n'en put dès lors tirer aucun avantage ; il vint en Angleterre où il traita, le 10 décembre 1846, avec M. Thomas, fabricant de corsets à Londres, disposa plusieurs appareils pour cette spécialité, et retourna en Amérique pour travailler au perfectionnement de sa machine, mais sans grand succès.

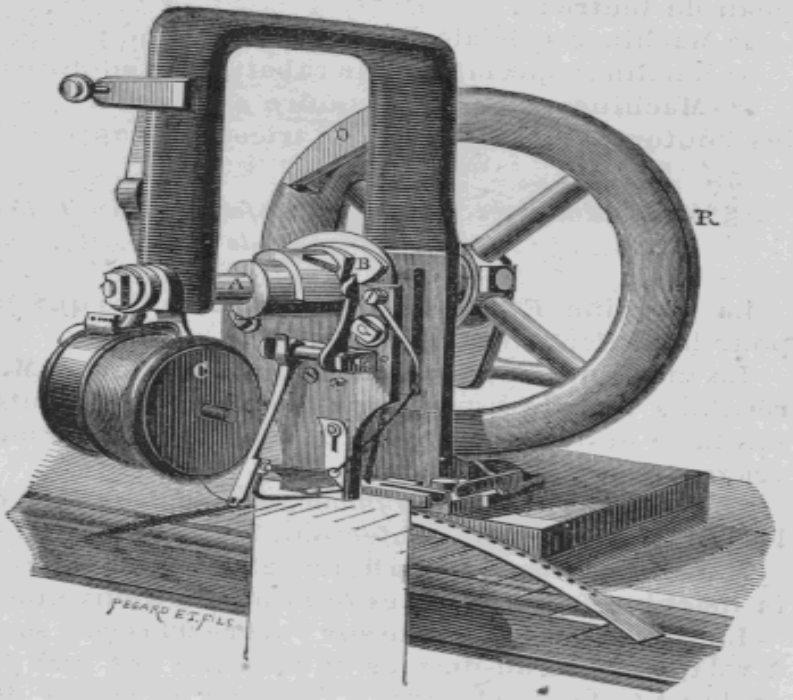


Fig. 24.

En 1850 fut produite la machine *Wheeler et Wilson*, à aiguille courbe et à navette en disque circulaire, avec entraînement en dessous.

En 1851, la machine *Grover et Baker*, dont nous avons parlé, était présentée aussi complète qu'elle l'est aujourd'hui, avec sa griffe d'entraînement en dessous et le presse-étoffe en dessus.

Enfin, en 1853, parut la machine Seymour (Américain), brevetée en Amérique le 17 janvier 1854, et en France, le 27 mars 1855, appareil pratique et fonctionnant bien, tant sous le rapport de la couture que sous celui de l'entraînement ; nous en décrirons le mécanisme à propos de la spécialité à laquelle il fut d'abord destiné, c'est-à-dire au bordage des chapeaux de feutre.

La machine Élias Howe reparut plus tard considérablement modifiée, conservant son principe aiguille et navette, mais cette fois, à l'exemple de celles que nous venons de citer, elle était pourvue des organes accessoires pour tension des fils, entraînement, réglage des points, etc., etc., qui la rendaient propre à un travail pratique, mais non pas des plus fins. Ses premières applications furent faites sur des matières premières destinées à la cordonnerie, spécialité pour laquelle elle a conservé une bonne réputation. Cette machine fait d'ailleurs bien la lingerie ordinaire et la confection.

Pour suivre l'ordre des dates, nous devrions nous occuper de suite de la machine *Wheeler et Wilson* ; cependant nous ne quitterons pas le nom de Howe sans décrire sa machine telle qu'elle existe aujourd'hui, état dans lequel il a pu l'amener lui-même avant sa mort, en remplaçant les plateaux à rainures, placés à l'arrière, par les cylindres à cannelures fixés à l'arbre du dessous empruntés à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la machine Seymour; il adopta la roue d'entraînement de Singer qu'il vient d'abandonner il y a à peine deux années, pour la remplacer par une griffe d'entraînement manœuvrée par une petite came située à l'extrémité de l'arbre des cylindres, tel qu'on a pu l'examiner sur la première machine introduite en France par Seymour, en 1854.

Nous tenons à inscrire ces faits pour réduire à leurs justes proportions les améliorations dues à E. Howe.

Afin de rendre ce travail aussi clair que possible, nous avons pensé qu'il convenait d'étudier les différents systèmes de machines à coudre en les classant par rapport au travail pour lequel elles sont plus spécialement construites et qu'elles exécutent le mieux.

Nous les grouperons donc par spécialité dans les paragraphes suivants :

1° Machines servant à la confection, aux vêtements, à la chaussure, au chapeau de feutre;

2° Machines spéciales pour lingerie fine ;

3° Machines spéciales pour rabattre les coutures et fermer les tiges, etc. ;

4° Machines diverses à coudre avec du fil poissé au point de navette, à faire les boutonnières, à coudre les tricots par approchement, etc.

§ 1. — *Machines faisant la confection, le vêtement, la chaussure, le chapeau de feutre, etc.*

La machine *E. Howe* est l'une de celles qui jouissent de la faveur du public pour la confection et la chaussure.

La machine *Singer*, à navette, construite par M. *Callebaut*, donne les meilleurs résultats pour la grosse confection, les vêtements en draps épais, l'équipement militaire et autres travaux rustiques; M. Callebaut a un modèle spécial pour ouvrages légers.

La machine du type *Seymour*, construite par MM. *Barrère et Caussade*, fait également bien la grosse confection, l'équipement, le chapeau de feutre, etc., etc.

Machine E. Howe. — La figure 25 représente une vue perspective du dessous de la machine faisant voir les organes du mouvement.

La roue placée à droite sur l'arbre 96 reçoit son mouvement d'une autre roue à volant placée au-dessous et conduite par une pédale. Cet arbre porte, comme on le voit, deux cylindres à rainures en forme de cames, l'une d'elles, celle de droite, communique, par un grand levier qui retourne en équerre au-dessus de la table, un mouvement faisant jouer verticalement le porte-aiguille ou tige cylindrique 40 (*fig.* 25, 26, 28) à la partie inférieure de laquelle une aiguille droite, pointue et possédant son trou pour le passage du fil près de la pointe est fixée par une vis 41.

La seconde came de l'arbre 96 conduit l'un des côtés d'une pièce en équerre articulée, l'autre côté mène le chasse-navette ou pièce glissant dans les rainures disposées exprès à la table, ainsi que le montre 85 (*fig.* 26), la navette S est indiquée telle qu'elle fonctionne renversée sur le côté, sa face portant sur la paroi latérale d'un creux pratiqué dans le bâti et son dos appuyé sur une petite séparation, les deux plaques 112 et 113 pendant le mouvement sont rapprochées et ferment le trou (*fig.* 28); la petite traverse qui est fixée entre les deux plaques a un trou par lequel passe l'aiguille, son dessous est garni d'un cuir sur lequel frappe la navette lorsque le point se serre, ce qui amortit le bruit.

La machine fonctionne ainsi : la came est disposée pour faire descendre l'aiguille, comme on le voit (*fig.* 27), à une certaine profondeur; dans ce mouvement, elle entraîne le fil, puis on la fait remonter un peu et alors se forme la boucle *a*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans laquelle (l'aiguille restant stationnaire) la pointe *b* de la navette entre et passe tout entière, l'aiguille remontant prend le fil *c*, l'entraîne dans l'épaisseur du tissu et forme ainsi le point représenté par la figure 21.

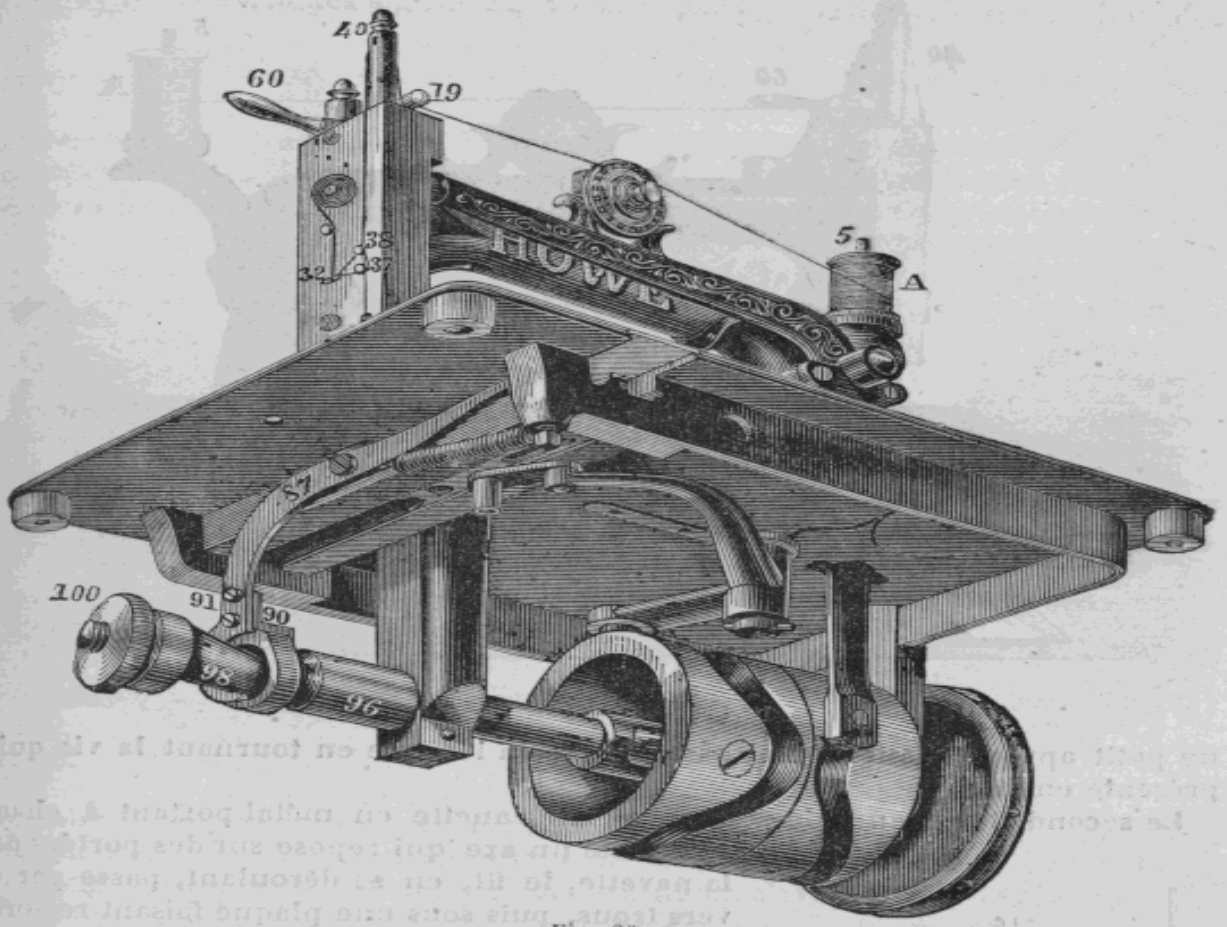


Fig. 25.

L'entraînement s'est fait dans les machines Howe, jusqu'à l'année dernière, par une roue taillée douée d'un mouvement intermittent qui lui était donné par la came 98, mais cette roue avait l'inconvénient de rendre le déplacement du tissu difficile pendant la marche et ne permettait de faire que la couture en ligne droite dans de bonnes conditions. Aujourd'hui, la même came 98 donne le mouvement à un levier courbe 87 mû par une autre came montée à l'extrémité de l'arbre des cylindres à rainures et portant une griffe à fleur de la plaque, elle est rappelée par un ressort à boudin ; cette griffe a donc deux mouvements, l'un de soulèvement, l'autre de translation. Pour agrandir ou diminuer la longueur du point, on tourne le bouton 100 qui déplace la came 98 et modifie l'amplitude du mouvement du levier 87.

Le presse-étoffe est une pièce cylindrique traversant la tête, il opère sa pression par un ressort à boudin, on le relève au moyen d'une manette portant une rainure en forme d'hélice qui, en tournant, soulève le pied et lui fait décrire un quart de cercle de dedans en dehors ; bien entendu, le pied est poli en dessous puisqu'il porte toujours sur l'étoffe.

Il nous reste à indiquer le passage des fils et les moyens de tirage employés ; celui de la bobine A se déroulant librement passe sur un galet 19 (*fig.* 28), traverse le porte-aiguille 40, vient en 38, passe dans le ressort 32, retourne en 37

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et de là se rend dans le trou de l'aiguille ; le ressort 32 fait le serrage du point ; pour régler la tension du fil, on remarque sur le col de cygne de la machine

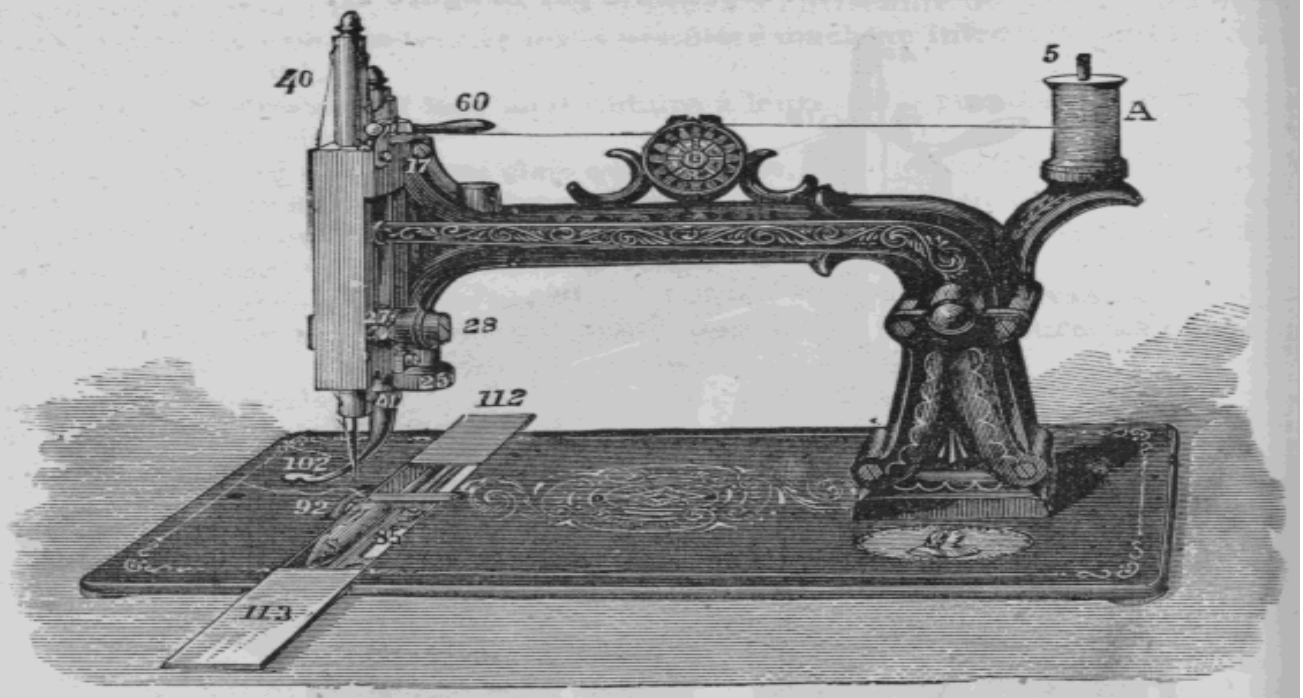


Fig. 26.

un petit appareil dans lequel passe le fil, on le serre en tournant la vis qui se présente en face.

Le second fil est enroulé sur une petite canette en métal portant à chaque extrémité un axe qui repose sur des portées dans la navette, le fil, en se déroulant, passe par divers trous, puis sous une plaque faisant ressort et que l'on serre plus ou moins par une vis. Tel est l'ensemble de cette machine dont le plateau se pose sur une table portant la roue à pédale ; elle peut faire tous les ouvrages plats et réussit bien les ouvrages sur cuir pour lesquels elle est estimée des cordonniers. La figure 28 montre cette machine avec ses plaques fermées et les fils disposés pour la couture.

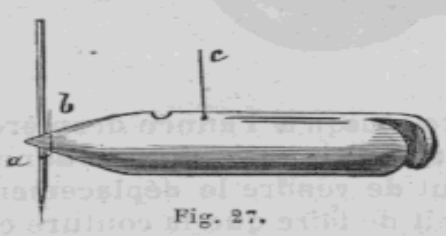


Fig. 27.

La compagnie Howe fait encore une machine à tube, spécialement pour les chaussures, nous en parlerons dans le paragraphe relatif aux machines à chaussures.

Les machines de ce système sont dures à manœuvrer et fatigantes pour les femmes qui les conduisent.

Nous avons parlé longuement des appareils de M. Élias Howe, il est juste de dire que, pendant longtemps, il a été associé à son frère A.-B. Howe qui, chargé plus spécialement de la fabrication, semble avoir été le créateur du type de la machine ; les deux frères se sont, depuis, séparés et ont continué à fabriquer ce même modèle auquel chacun d'eux a apporté quelques modifications. Depuis plusieurs années la machine A.-B. Howe a l'entraînement en dessous, et tout dernièrement, il vient d'apporter à son modèle deux nouvelles modifications, l'une ayant pour but d'éviter la casse des aiguilles, et l'autre devant permettre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de coudre des étoffes de grosseurs fort différentes et d'employer des aiguilles très-variables de grosseur sans craindre les manques de points qui se produisent ordinairement.

Pour éviter la casse des aiguilles qui a lieu par leur rencontre avec la navette,

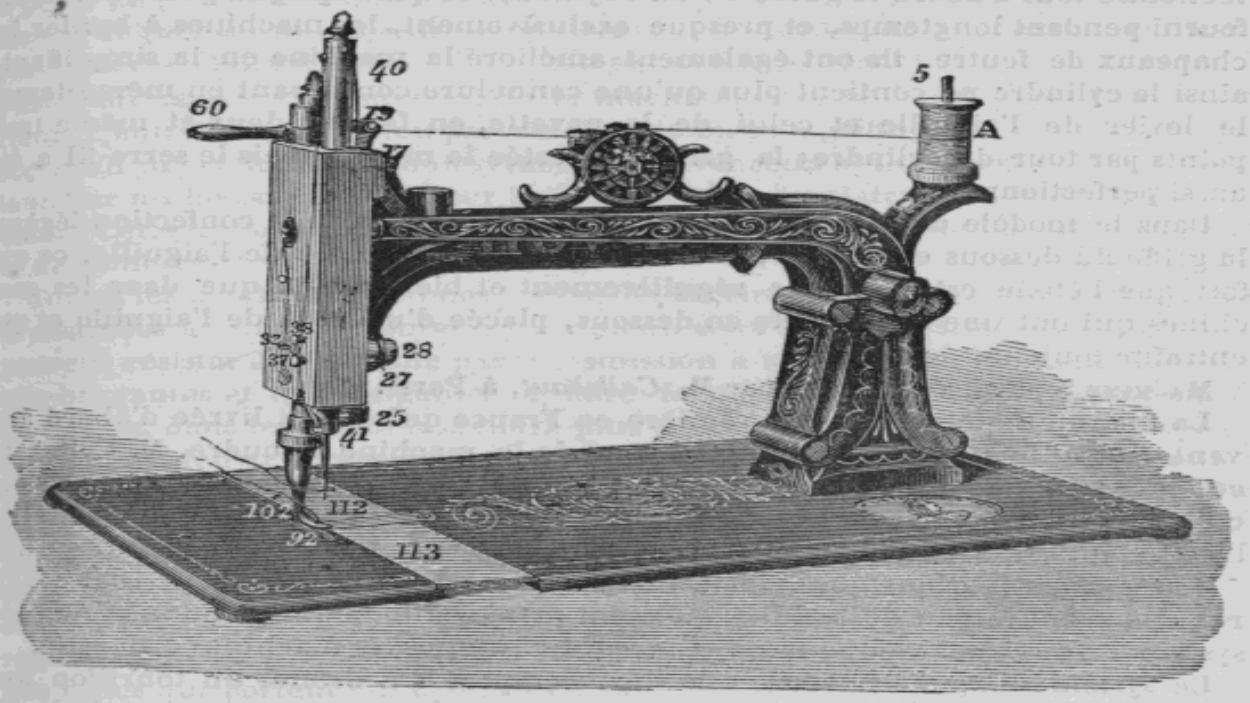


Fig. 28.

M. Amanda Howe a fendu, au droit de l'aiguille, le fond de la rainure dans laquelle glisse la navette ; il a placé dans cette fente une petite pièce douée d'un mouvement et qui, lorsque l'aiguille est descendue, s'avance et la force à rentrer dans son logement si elle est déviée, de sorte que la navette ne peut jamais la rencontrer.

La seconde modification apportée est l'articulation de la tête à la partie supérieure ; on la déplace au moyen d'une vis, de manière à pouvoir approcher l'aiguille aussi près que l'on veut de la paroi de la rainure de la navette, et l'on est toujours certain que celle-ci passe dans la boucle quelque petite qu'elle soit, tandis que lorsqu'on emploie une grosse aiguille, elle se trouve assez éloignée du bord ; si à la place on en met une petite, elle est plus éloignée encore et la boucle formée par le fil sera en grande partie à l'intérieur, de sorte que fort souvent les points sont manqués, car la navette ne passe pas dans cette boucle, la tête articulée permet donc, sans qu'aucun des autres mouvements en souffre, de rapprocher l'aiguille aussi près du bord que l'on veut.

Machine Seymour construite par MM. *Barrère et Caussade*. — Cet appareil, patenté en Amérique le 17 janvier 1854, et en France le 27 mars 1855, représente l'un des types qui ont le moins subi de modifications dans la pratique ; sa simplicité en a fait une machine d'atelier peu susceptible de se déranger.

Le brevet Seymour, cédé à M. *Leduc*, fabricant de chapeaux à Paris, n'avait, dans le principe, rapport qu'au bordage des chapeaux de feutre, la machine portait, sous sa table, un arbre sur lequel était monté un cylindre à trois cannelures, l'une conduisait le levier de l'aiguille, la seconde celui de la navette et la troisième une tige appelée serre-fil ; en dessous une griffe, articulée par une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petite came montée à l'extrémité de l'arbre et rappelée par un ressort, produisait l'entraînement.

Enfin, un guide spécial présentait le ruban à cheval sur le bord du chapeau qui y était fixé par une double piqûre. MM. *Barrère et Caussade* ont étudié et perfectionné tout d'abord le guide de M. Seymour, ce qui explique pourquoi ils ont fourni pendant longtemps, et presque exclusivement, les machines à border les chapeaux de feutre. Ils ont également amélioré la machine en la simplifiant : ainsi le cylindre ne contient plus qu'une cannelure conduisant en même temps le levier de l'aiguille et celui de la navette, en faisant deux et même trois points par tour du cylindre; la griffe est restée la même, mais le serre-fil a été aussi perfectionné.

Dans le modèle de MM. Barrère et Caussade, destiné à la confection légère, la griffe du dessous est double, la moitié est de chaque côté de l'aiguille, ce qui fait que l'étoffe est entraînée régulièrement et bien mieux que dans les machines qui ont une seule griffe en dessous, placée d'un côté de l'aiguille et qui entraîne toujours de travers.

MACHINE SINGER, construite par M. *Callebaut*, à Paris.

La maison Callebaut est la première en France qui se soit livrée d'abord à la vente, ensuite à la fabrication en grand de la machine à coudre. M. Callebaut eut le mérite de faire prendre ces machines et d'en propager l'emploi, en s'occupant de leur vente avec une très-grande activité, puis en créant une usine et en l'exploitant sur une large échelle. Il a aujourd'hui cédé son établissement à ses fils.

Après avoir fabriqué quelques centaines de machines à chaînette (1855-1856), reconnaissant le peu de solidité du point et n'ayant aucune confiance dans ce système, il l'abandonna pour ne plus construire que les machines à navette.

Le système Singer à navette est ainsi composé : à droite, un tourillon fixé au bâti porte une grande roue d'engrenage recevant son mouvement de la pédale par l'intermédiaire d'une bielle ; elle communique avec un pignon droit placé au-dessus et monté à l'extrémité d'un arbre portant à son autre extrémité un plateau à tige excentrée qui entre dans le creux d'un cœur fixé au coulisseau porte-aiguille et le fait monter et descendre. Sous la grande roue, un semblable pignon fait tourner également un arbre à l'extrémité duquel est une manivelle qui communique, par l'intermédiaire d'une bielle, un mouvement de va-et-vient au chasse-navette agissant dans une direction perpendiculaire à celle de l'arbre.

L'entraînement a lieu par une roue striée sur sa circonférence, qui reçoit un mouvement déterminé d'une chape, également striée, mue par un excentrique monté sur l'arbre du mouvement de la navette ; cette chape est double, de sorte qu'à un moment donné, on peut, par le jeu d'une pédale, produire l'entraînement en sens inverse et faire une seconde couture sur la première ; il serait certainement très-difficile de faire rencontrer les points sur une assez grande longueur, mais, pour arrêter la couture, on peut, en prenant soin de régler les points égaux de chaque côté, en faire quelques-uns les uns sur les autres; le pied de biche n'est destiné qu'à appuyer sur le tissu, de façon à assurer l'entraînement par la roue striée. Enfin, il est facile de régler la longueur des points et le serrage des fils.

Cette machine, qui est d'un aspect lourd et peu élégant, est appréciée des tailleurs qui s'en servent pour les grandes pièces ; elle est peu sujette à se déranger. M. Callebaut a toujours soigné sa fabrication ; s'il a maintenu ses prix élevés, il n'a point laissé faiblir la qualité de ses machines, ce dont on doit lui savoir gré. M. Godillot en occupe environ 300 marchant par transmission de vapeur ; les gouvernements français, russe, autrichien et belge font aussi usage de ces couseuses pour l'équipement militaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Callebaut fait également une machine, *dite de famille*, destinée à la lingerie ordinaire et aux confections plus légères ; c'est la machine Singer modifiée : l'arbre supérieur porte encore un plateau à bouton, qui conduit le porte-aiguille par la rainure du cœur dont nous avons parlé ; tout le reste est modifié. Cet arbre reçoit directement son mouvement du volant correspondant à la pédale ; il porte un pignon conique qui fait mouvoir un arbre vertical, à l'extrémité inférieure duquel est une manivelle se mouvant horizontalement ; puis il conduit, par l'intermédiaire d'une bielle, le chasse-navette agissant ici en sens contraire, c'est-à-dire suivant la longueur de la machine, dans la direction du bras supérieur. L'entraînement a lieu par un pied de biche à griffe placé en dessus et qui reçoit un mouvement de soulèvement et d'avancement ; ce dernier effet est obtenu par un bossage existant sur la circonférence du plateau à tige conduisant le cœur. Cette machine fait un bon travail pour les ouvrages de lingerie ordinaire et de confection.

Toutes les machines que nous venons de décrire, exécutant le point de navette et destinées à la confection et au vêtement, sont construites très-solidement, et peuvent résister à la marche par transmission à vapeur, mais elles sont lourdes, très-bruyantes et très-fatigantes à faire fonctionner par pédale. Beaucoup de fabricants, dans le but de les rendre plus douces à conduire, font un modèle qui fonctionne bien et donne de bons résultats pour tous les ouvrages de la confection. Dans cette machine, l'arbre supérieur porte un plateau avec rainure formant came, cette rainure mène un goujon fixé au porte-aiguille et lui communique un mouvement de montée et de descente. Le chasse-navette reçoit son mouvement de va-et-vient d'une bielle conduite par l'arbre du dessous mis en communication, par une autre bielle, avec celui du dessus, sur lequel on agit directement par la pédale. Cette machine est en effet moins dure à faire tourner que celles qui portent des cylindres à rainures.

Il est fort à souhaiter que dans un avenir prochain, chaque machine à coudre soit munie d'un petit appareil qui lui serve de moteur, de manière à éviter aux ouvrières mécaniciennes la manœuvre fatigante des pédales. On aurait résolu là un problème intimement lié à celui de la couture mécanique ; car si la machine à coudre a apporté une économie dans la main-d'œuvre, c'est au prix de grandes fatigues qu'elle est obtenue ; en *améliorant la situation de l'ouvrière, la machine en ruine la santé*.

§ II. — *Machines à lingerie.*

Parmi les machines à coudre en usage pour la confection et le vêtement, trois seulement sont destinées spécialement à la lingerie fine ; ce sont : les machines de MM. *Thomas*, de Londres, *Wheeler et Wilson*, de New-York, depuis 1855, et depuis 1858, celle de M. *Reimann*, de Paris, qui doit être considérée comme une variante du type Wheeler et Wilson.

Machines Thomas. — M. Thomas, de Londres, par suite d'un arrangement avec E. Howe, en décembre 1846, fut le premier constructeur qui produisit une machine pratique à deux fils du système Howe, à aiguille et navette, capable d'entrer dans la manufacture et d'y faire un travail sérieux. L'entraînement en dessus se faisait bien, appliqué à la lingerie, son travail, quoique passablement fait, était cependant inférieur à celui de la machine Wheeler et Wilson qui naissait à peine. Depuis, cette machine a été perfectionnée, et malgré cela, aujourd'hui encore, ce type, pas plus que la machine Howe et toutes celles du même système, ne convient pour exécuter la lingerie fine. Cependant nous devons dire que les machines Thomas, appliquées à la chaussure et aux autres travaux ordinaires sur drap ou cuir, donnent d'excellents résultats.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette maison possède une très-grande variété de modèles destinés aux différents usages qui se rencontrent dans la pratique industrielle ; elle ne fabrique que des machines du système à aiguille et navette Howe ; tous les organes sont mis en mouvement par des cames latérales formées par des rainures pratiquées dans des plateaux montés verticalement sur l'arbre moteur. Ces plateaux sont de très-grande dimension et en disproportion avec l'effort à produire ; pour mener des organes aussi grands, la poulie montée sur le même arbre est un simple galet de quelques centimètres de diamètre, la moitié à peine du diamètre des plateaux à rainures, ce qui rend ces machines très-lourdes et très-fatigantes à conduire pour leur marche au pied par pédale.

Machine système Wheeler et Wilson. — Cette machine est un type spécial bon à étudier ; brevetée en Amérique en novembre 1850, elle fut construite de suite et a atteint dans les premières années de sa fabrication son plus haut degré de perfectionnement. Produite avant même que la machine Howe fût devenue pratique et au moment où l'on cherchait une bonne machine à lingerie au point de navette (jusque-là c'était la machine à point noué, système Grover et Backer, qui était exclusivement employée), elle eut, dès son apparition, un grand succès et s'est acquis une bonne réputation, qu'elle a conservée malgré la rude concurrence de toutes les machines spécialement perfectionnées, en vue de la lingerie, depuis quelques années.

Le nombre des machines fabriquées par la maison Wheeler et Wilson était en 1853 de 800 ; il fut en 1866 de 50,132. Ce chiffre très-éloquent ne doit cependant pas faire croire à la supériorité absolue de cette machine ; le système est extrêmement simple, mais cette simplicité qui la rend remarquable ne l'exempte pas cependant, nous ne dirons pas de certains défauts, mais tout au moins de certaines imperfections auxquelles il serait fort difficile de remédier sans compliquer les mouvements. Nous allons en donner une description en faisant ressortir les principes sur lesquels repose ce système, très-différent de ceux que nous avons étudiés jusqu'ici et qui présente même une certaine originalité.

La machine est représentée figure 29, la plaque de travail étant enlevée pour laisser voir les organes ; elle est composée d'un bâti plat en fonte et de quelques pièces s'élevant d'équerre à cette table et servant à fixer les articulations ; sur un arbre horizontal reposant dans deux coussinets montés sur les paliers 24-24, et auquel on communique directement le mouvement par la courroie 23, se trouvent fixés tous les organes importants ; à gauche de la courroie 23, un excentrique circulaire communique, par une bielle 10-11, un mouvement circulaire alternatif à un axe 3 monté sur pointes 4 faisant mouvoir le porte-aiguille ou levier coudé 1, à l'extrémité duquel est placée l'aiguille courbe serrée par une vis 5.

A l'extrémité droite de l'arbre et en dehors du palier 24 est monté le croissant 32, puis en dessous, au bâti est fixée la brosse 33 ; enfin une équerre à lunette 34, tenue par la vis 35, est destinée à maintenir dans sa position une sorte de bobine 30 faite d'un axe et de deux disques circulaires qui renferment le fil.

L'entraînement a lieu en dessous par une griffe 27 fixée entre deux branches d'une barre qui reçoit son mouvement horizontal et celui de montée et de descente d'un excentrique placé sur l'arbre, entre la courroie 23 et le palier 24, et que la vue perspective du dessin ne permet pas de voir ; elle est rappelée par un ressort. On règle avec une petite came plate fixée sous la plaque de travail le déplacement de cette barre et par conséquent la longueur du point.

Enfin le presse-étoffe 16, maintenu à l'extrémité 14 d'un levier fixe 2, est formé d'une partie fourchue bouchée par un verre troué pour le passage de l'aiguille ; cette sorte de pied-de-biche, qui oblige l'étoffe à s'appliquer sur la pla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que de travail, est attaché à une tige mobile jouant dans un cône creux par l'effet d'un ressort ; un levier sert à le lever et à le baisser à volonté.

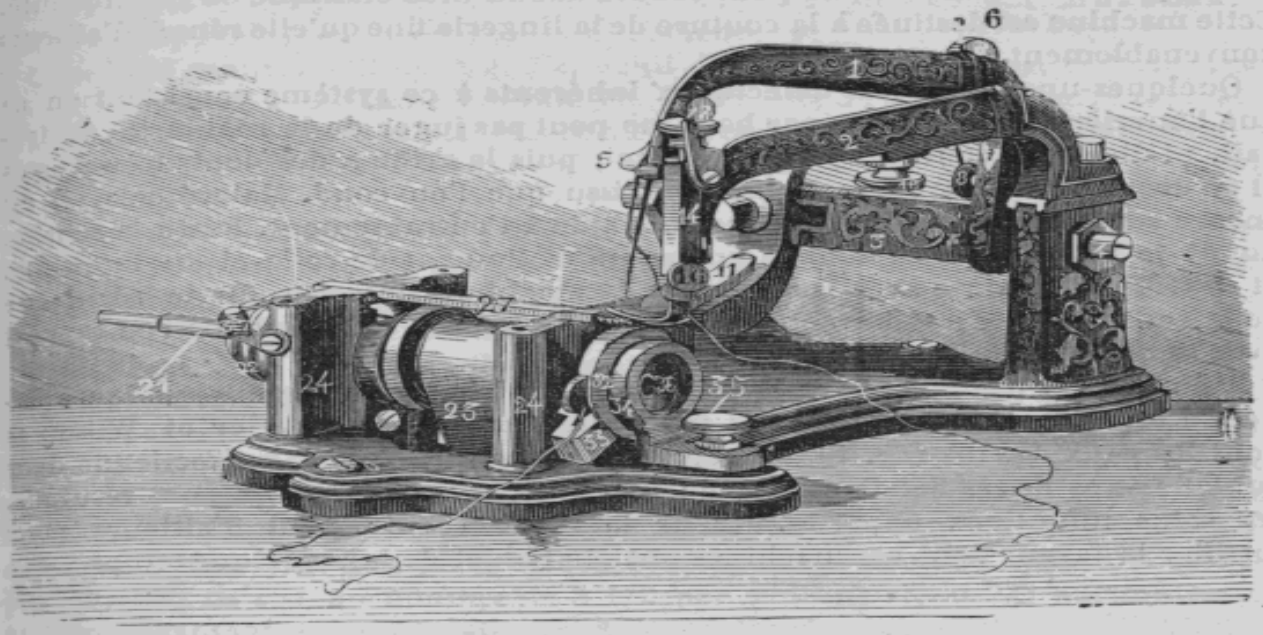


Fig. 29.

Après avoir décrit l'ensemble de la machine, nous allons donner avec quelques détails la formation du point, qui n'est pas aussi simple que dans les machines à navette ordinaire. La figure 30 montre le croissant formé d'un arc articulé au centre, muni d'une pointe effilée A et d'une partie C destinée à l'entraînement du fil, sa pointe A entre, comme on le voit, dans la boucle formée par le fil de l'aiguille qui est, en ce moment, sans mouvement et dans sa position la plus basse, en même temps que se commence ce point le précédent n'est pas terminé, car le fil venant de la boucle précédente de l'aiguille est au repos, arrêté par la petite brosse P, située en dessous et un peu à gauche, qui porte sur le croissant. Celui-ci continuant sa course, entraînant sa boucle

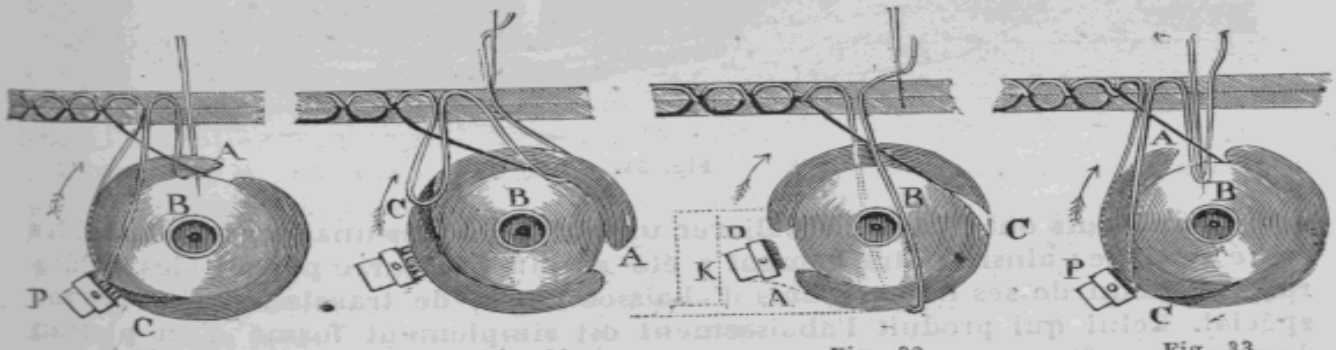


Fig. 30. Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.

(*fig.* 31), fait céder la précédente qui vient former son point dans le tissu, comme le montre la figure 32. La figure 33 fait voir les fils placés pour former un nouveau point ; le croissant, qui est revenu à son point de départ, prend, dans une nouvelle révolution, le fil de l'aiguille pour former un autre point ; il tire en même temps le fil du point précédent et le termine. Il en résulte que dans une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étoffe un peu dure, le tissu s'étant resserré après la sortie de l'aiguille retient le fil que le croissant entraîne difficilement. Le point, se faisant en deux fois et par deux opérations distinctes, ne peut coudre aucun tissu élastique ou caoutchouté. Cette machine est destinée à la couture de la lingerie fine qu'elle réussit d'ailleurs convenablement.

Quelques-uns des points défectueux inhérents à ce système consistent en ce que l'ouvrière, étant placée par bout, ne peut pas juger de la régularité du travail, ni diriger la couture en ligne droite ; puis la griffe a des dents très-grosses et en disproportion avec la finesse du tissu que l'on coud. Malgré cela, il est encore souvent nécessaire que l'ouvrière aide à l'entraînement. Enfin la tension du fil de la bobine n'est donnée que par le frottement de celle-ci sur le disque, et ce frottement varie avec la vitesse de la machine, de sorte que la régularité de la couture varie aussi avec cette vitesse. La tension du fil est aussi en rapport avec la quantité qu'il y a sur la bobine.

MM. Pollack-Schmidt et C^ie^, de Hambourg, qui se livrent depuis quelques années à la fabrication en grand des machines du système Wheeler et Wilson et dont les deux dessins (*fig.* 29, 34) représentent le modèle, ont perfectionné dans quelques-uns de ses détails ce type de machine, et ont obtenu de bons résultats, les soins minutieux apportés à leur fabrication suffiraient d'ailleurs pour justifier la faveur dont ces machines ont été l'objet depuis quelque temps.

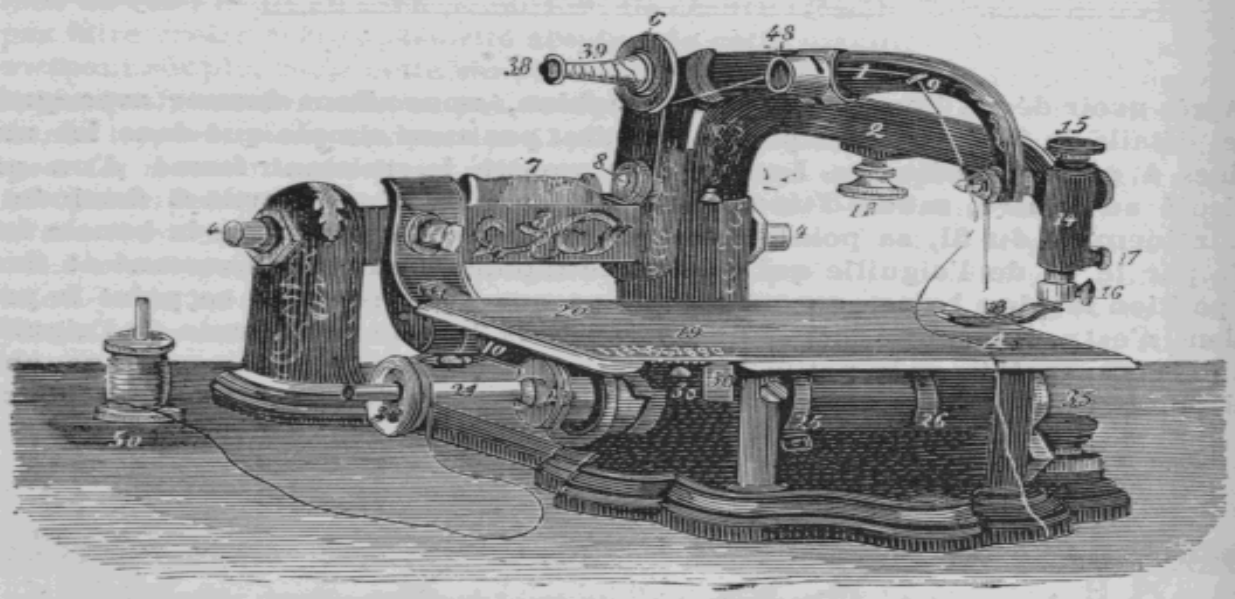


Fig. 34.

Ces fabricants ont réussi à améliorer un peu quelques-uns des points faibles de ce système ; ainsi l'entraînement a été modifié, la barre portant les griffes reçoit chacun de ses mouvements d'abaissement et de translation d'un organe spécial. Celui qui produit l'abaissement est simplement formé d'un plateau dont la circonférence porte quelques inflexions que suit la barre, ce qui fait que la griffe, à des moments donnés, s'élève au-dessus de la plaque de travail ou disparaît en dessous. La barre à griffe porte à l'endroit qui s'appuie sur le champ de ce plateau une petite pièce mobile en gutta-percha, de sorte que, lorsqu'on coud des tissus extrêmement fins, tels que des mousselines claires, du tulle, des dentelles, on remplace cette petite pièce par une plus petite encore et la griffe ne fait qu'effleurer le niveau de la plaque ; ayant retiré de la pression

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

au presse-étoffe, on ne craint pas de gâter les tissus délicats sur lesquels les dents des griffes marquent ordinairement. La gutta-percha est employée de préférence à toute autre matière pour éviter le bruit, ce qui a conduit MM. Pollack-Schmidt à appeler leur machine « la Silencieuse. »

Le second mouvement de la griffe, celui de l'entraînement, est communiqué par un excentrique ou came latérale 22. Un ressort 30 oblige la barre à griffe à le suivre avec une grande exactitude; ce même ressort, tendu fortement, empêche la griffe 27 de s'éloigner du contour du plateau 26. La came latérale 22 est mobile et peut augmenter ou diminuer à volonté l'amplitude du mouvement de la barre; pour cela, dans une rainure de la partie extrême de cet excentrique, on introduit un galet en gutta-percha, destiné à embrayer et débrayer, fixé au bout d'un levier articulé en son milieu et dont l'autre extrémité 30 touche à des crans numérotés 19, dont les mêmes numéros correspondent sur toutes les machines à un point de même longueur. Cet excentrique est formé de deux parties réunies par une charnière. On augmente et on diminue son inclinaison et par suite la course de la barre à griffe 27, qui règle la longueur du point, par la manœuvre du levier de réglage 3 correspondant à ce régulateur chiffré. La longueur des points est répartie en dix grandeurs différentes : les numéros partant du 0 allant vers 9. 8, etc., indiquent les points les plus fins, on en compte 12 par centimètre de longueur, soit 1,200 par mètre de couture, tandis que, de 2 à 1 sont les points les plus écartés ; ils sont au nombre de 3 1/3 par centimètre ou 333 par mètre. Le principal avantage de ce régulateur chiffré, appliqué à des machines bien réglées, est de permettre d'obtenir par la seule indication d'un numéro des coutures exactement semblables et à quelqu'ouvrière d'un atelier qu'on les confie, ce qui n'arrive pas ordinairement par l'emploi des autres machines, dont la longueur du point n'est indiquée par aucun signe extérieur.

On a encore apporté quelques améliorations à ce système en rendant le presse-étoffe 14 tournant, afin de faciliter la pose des guides et de l'aiguille et en lui donnant une pression variable suivant le tissu sur lequel on travaille. Enfin chaque aiguille reçoit à sa partie supérieure un petit appendice en cuivre placé à une hauteur telle qu'il doit s'appuyer sur le porte-aiguille, lorsque l'aiguille est à la hauteur convenable pour coudre, on n'a plus maintenant à tâtonner pour régler sa hauteur, on la passe par la partie supérieure, elle vient reposer sur son appui, et l'on n'a plus qu'à tourner la courbure dans le bon sens et à serrer la vis de pression 5 pour la fixer solidement.

La bobine 36 de la machine est représentée, montée sur une broche et s'emplissant du fil de la bobine 50.

MM. Pollack-Schmidt ont une belle collection de guides, qui facilitent beaucoup l'exécution d'un grand nombre d'ouvrages.

Machine de M. Reimann. — La machine que ce fabricant construit spécialement pour la lingerie se rapproche du type Wheeler et Wilson en ce qui concerne l'accrochage des fils ; il a conservé le principe de la machine américaine tout en appliquant des organes propres à éviter les parties défectueuses.

L'aiguille est droite et courte, ce qui permet de coudre avec une aiguille fine des épaisseurs relativement fortes ; elle est douée d'un mouvement vertical. La navette n'existe pas, mais le fil de l'aiguille est saisi par un crochet qui a la forme d'un hameçon et dont le contre-crochet entraîne la boucle suffisamment loin pour qu'elle fasse le tour et prenne le fil d'une petite bobine mise dans une pièce creuse ou porte-bobine. Ce porte-bobine est muni au fond d'un ressort sur lequel porte la bobine que l'on serre plus ou moins par une vis, ce qui règle la tension du fil. M. Reimann fait ce réglage de la bobine une fois pour toutes ; il en résulte que pour obtenir un serrage convenable des fils, il faut tendre ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lâcher celui de l'aiguille, ce qui déplacera nécessairement, dans l'épaisseur du tissu, le croisement des fils et pourra même l'amener à la surface soit en dessus, soit en dessous, condition défavorable qu'il faut éviter en serrant ou desserrant un peu la bobine sur le ressort.

La machine de M. Reimann est construite avec une grande perfection, les moindres détails y sont étudiés soigneusement et fabriqués d'une manière irréprochable. Son bâti est composé d'une partie circulaire raccordant deux bras horizontaux ayant la forme d'un ⊃ ; la partie inférieure contient le mouvement du crochet, et la partie supérieure celui de l'aiguille ; un arbre horizontal est renfermé dans le bras supérieur, il porte à son extrémité droite une poulie qui reçoit directement le mouvement du volant placé sous la table et mû par les pédales. A l'autre extrémité de l'arbre se trouve la tête qui porte le mouvement de l'aiguille et celui de l'entraînement. L'aiguille A est fixée par une petite platine à vis C à un coulisseau B marchant par un excentrique monté à l'extrémité de l'arbre (*fig.* 35).

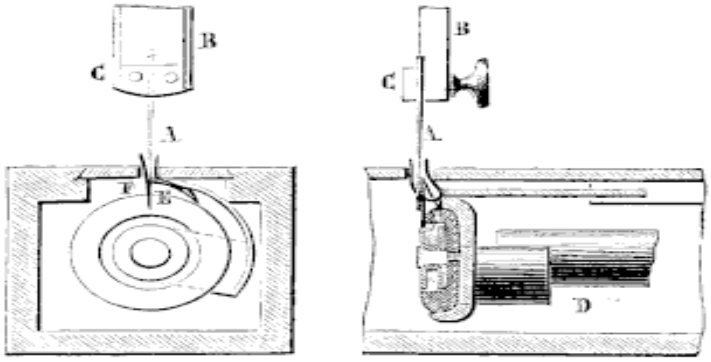


Fig. 35.

La petite poulie motrice communique, par l'intermédiaire d'une bielle, à un secteur denté articulé en un point fixe, un mouvement alternatif transmis, par un pignon également denté, à l'arbre horizontal renfermé dans le bras inférieur du bâti et portant à son extrémité D, le crochet ou ancre E destiné à accrocher le fil F de l'aiguille A ; l'amplitude du mouvement de l'ancre est calculée de manière à ce que, tournant à droite, elle dépasse l'axe pour saisir le fil et qu'ensuite, revenant à gauche, elle ait abandonné la boucle, dont un brin est passé de chaque côté du porte-bobine, après l'avoir conduite assez avant pour qu'elle termine son tour toute seule en prenant le fil de la petite bobine qu'elle entraîne dans l'étoffe et forme le point.

Le tissu à coudre repose sur une table lisse, et l'entraînement se fait par le dessus ; un levier ou pied-de-biche terminé par une griffe est doué de deux mouvements, l'un de soulèvement ayant lieu par un ressort placé à l'intérieur, et l'autre de translation, dans lequel le pied-de-biche est éloigné par un excentrique et ramené à sa position après chaque point par un ressort plat. On règle la longueur des points à l'aide d'une vis de rappel qui éloigne plus ou moins la griffe et modifie son mouvement comme il convient pour le travail à exécuter.

La machine de M. Reimann, au nombre de trois ou quatre modèles de différentes grandeurs, fait depuis la lingerie la plus fine jusqu'aux travaux moins délicats sur cuir pour cordonniers et sur drap pour tailleurs ; mais ce n'est pas pour ces spécialités, dans lesquelles toutes les machines, même les moins précises, réussissent à donner un travail satisfaisant, qu'elle a été étudiée, mais uniquement pour la couture de la belle lingerie qu'elle réussit très-bien.

§ III. — *Machines à rabattre et à fermer les chaussures.*

Les machines plates, c'est-à-dire celles sur lesquelles on coud en étalant l'ouvrage sur la table, peuvent, jusqu'à un certain point, fermer les tiges des bottines peu hautes ; mais pour les tiges longues de bottines et demi-bottes de dames, de même que pour les bottines et bottes d'hommes, ces machines ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peuvent arriver à les fermer entièrement et à faire les piqûres qui se trouvent sur la circonférence des tiges. Pour exécuter ces ouvrages spéciaux, il faut avoir recours à une machine qui possède un long tube ou bras que l'on passe dans la tige. Quelques fabricants font ces machines spéciales dont nous allons parler.

Les premières sont venues d'Amérique ; construites par Howe depuis fort longtemps, elles avaient déjà et ont encore leur aiguille fixée à l'extrémité d'un long levier courbe recevant son mouvement d'une came creusée dans un plateau tournant verticalement ; le jeu de la navette est également produit par une came, mais cette navette est cylindrique et fonctionne dans le tube. L'entraînement se fait par une roue striée du diamètre du tube, ce qui permet de coudre les parties circulaires seulement, travail qu'elles exécutent d'ailleurs dans de bonnes conditions.

Pour fermer les chaussures, pour coudre les manches des vêtements, des sarraux, les pantalons, on se sert également d'une machine ayant un tube ou long bras dans lequel joue la navette ; le point se forme comme dans les machines ordinaires de Howe, et l'entraînement a lieu dans le sens de la longueur du tube ; ce tube ou bras est placé ordinairement suivant la longueur de la table, de sorte que l'ouvrière est dans l'impossibilité de diriger le travail suivant une ligne droite ; quelques-unes de ces machines, notamment celles construites par MM. *Hurtu et Hautin*, ont un second pied-de-biche produisant, en outre, l'entraînement autour du tube comme dans la machine Howe dont nous venons de parler.

MM. *Aubineau et Bouriquet* construisent pour le même usage un modèle spécial de machines cousant au point de navette ; la tête de cette machine est semblable à celle des machines plates, le jeu de l'aiguille est également le même ; le mouvement de montée et de descente est donné au porte-aiguille par la rainure d'un plateau fixé à l'extrémité d'un arbre moteur mû par un volant placé sous la table.

Pour conduire la navette renfermée dans le bras long de 0,40 environ, que l'ouvrière voit par bout, la transmission, faisant faire va-et-vient au chariot de la navette, est renvoyée par deux leviers réunis par un arbre à mouvement alternatif.

L'entraînement a lieu par une griffe placée en dessus ; il se fait, suivant la longueur du bras, de l'extérieur à l'intérieur, et l'ouvrière est placée de façon à voir se faire sa couture comme dans les machines plates.

L'aiguille droite permet de percer de fortes épaisseurs de cuir et, par conséquent, d'exécuter les travaux les plus importants et les plus difficultueux de la cordonnerie et des vêtements.

M. *Reimann* fabrique également une machine destinée au même usage ; sa forme est seulement en équerre ; l'un de ses côtés représente le corps de la machine, et l'autre est formé du bras sur lequel s'exécute le travail et de la tête qui est en dessus (elle a la forme d'une machine ordinaire avec un bras en retour), ce qui laisse, comme on le voit, tout l'espace libre de chaque côté du bras plus ou moins long sur lequel s'effectue la couture. Cette disposition permet de placer sur ce bras des pièces à coudre aussi fortes que l'on veut et de les étaler de chaque côté, suivant les besoins, sans être gêné par aucune pièce de la machine.

L'entraînement se fait de l'extérieur à l'intérieur en suivant le bras horizontal ; le mouvement des pédales est disposé de telle façon que l'ouvrière est placée en face du bout de ce bras et peut diriger le travail, comme dans la machine de MM. Aubineau et Bouriquet, soit en ligne droite, soit suivant des contours déterminés, avec une grande régularité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Reimann a, en même temps, beaucoup simplifié les organes du mouvement de la navette; il a supprimé le chasse-navette et l'a remplacé par une simple tige qui porte, un peu avant son extrémité, deux galets roulant sur le fond du bras et le long de ses deux faces latérales. Il est facile, avec cette disposition, de conserver un mouvement très-doux, quels que soient la longueur de la tige et le déplacement de la navette. La tige porte à son extrémité une petite pièce destinée à maintenir la navette et à l'entraîner dans son mouvement de va-et-vient ; un ressort appuie sur son dos et l'oblige à porter sur la paroi latérale et à coulisser dans une rainure qui l'empêche de varier dans sa course.

Cette machine peut fermer les tiges, rabattre les coutures, et, à volonté, faire de la couture plate en mettant une tablette au niveau du bras.

Enfin deux organes accessoires, imaginés par M. *Touzet*, fabricant de chaussures, sont destinés à rendre quelques services; ils s'adaptent à toutes les machines plates employées à la piqûre des chaussures : l'un est un *dévideur de biais et galons* (*fig.* 36), qui évite le bâtissage, coûteux à la main, des biais et des ga-

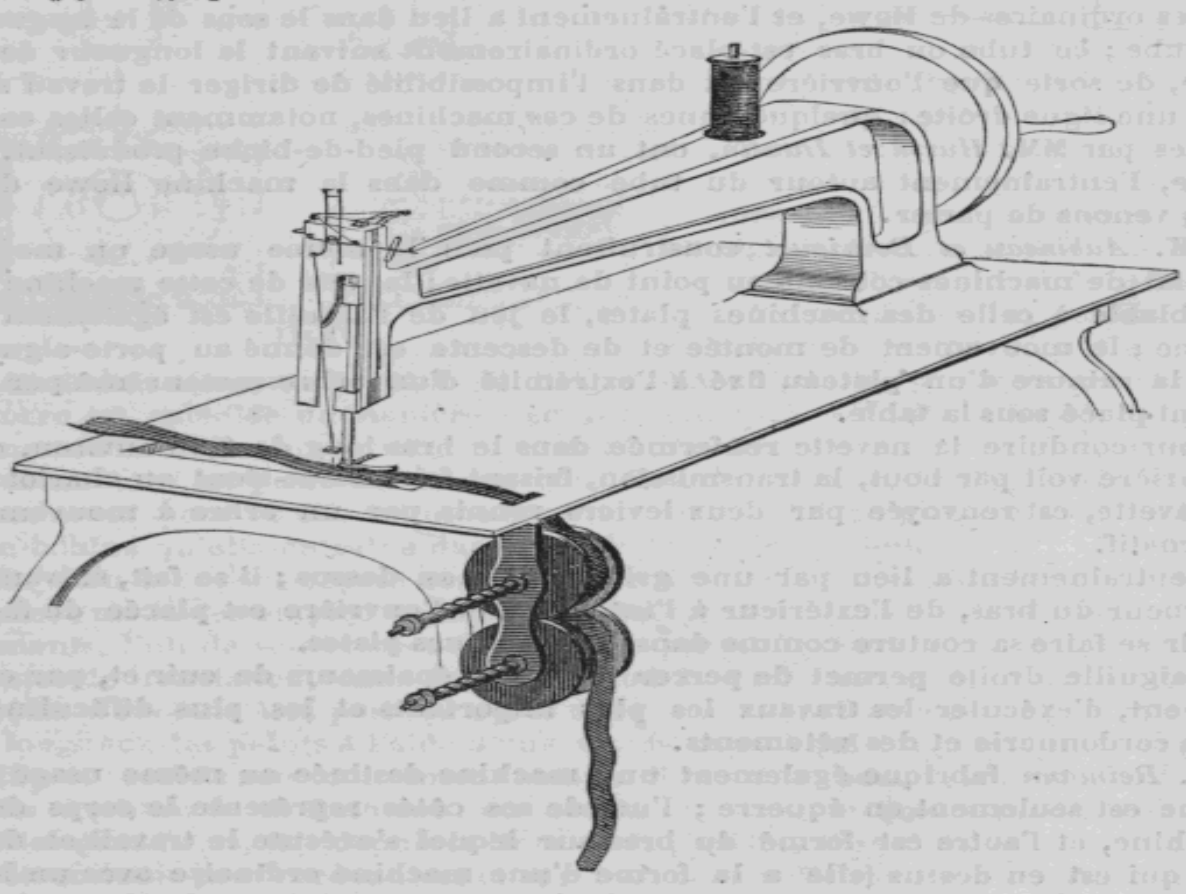


Fig. 36.

lons ; il est formé de deux bobines dévideuses qui distribuent la matière au fur et à mesure que la piqûre s'exécute par le seul fait de l'entraînement de la machine. Le second est un *bordeur automatique* (*fig.* 37), ou plutôt une sorte de guide qui puisse permettre de border les parties concaves et se ployer à tous les contours ; jusqu'à présent on ne pouvait suivre que les parties convexes, à cause de la torsion des galons et des dents que l'on était obligé d'y faire. Ce bordeur permet de supprimer le bâtissage à la main et de faire la première piqûre en même temps que la pose du galon, ce qui procure une économie con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sidérable, car une habile bâtisseuse ne peut bâtir dans une journée que trois douzaines de claques de femmes, et la première piqûre n'est pas faite, tandis

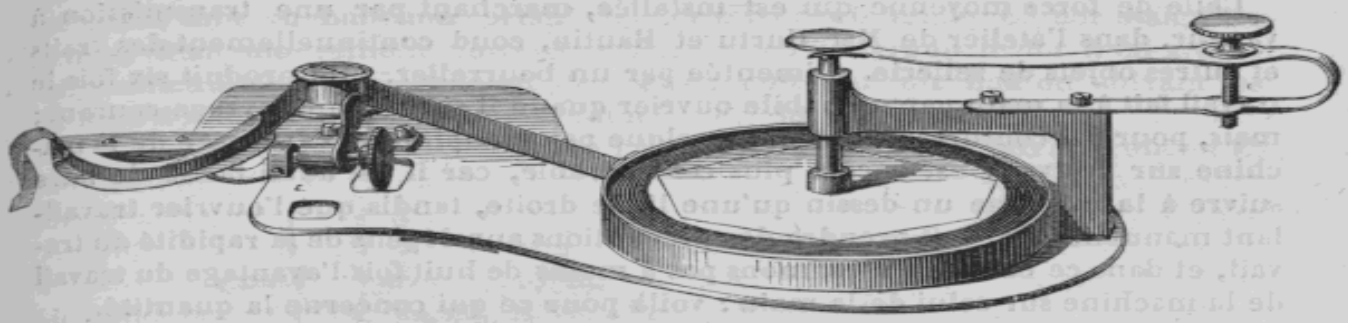


Fig. 37.

qu'avec le bordeur une mécanicienne borde et fait la première piqûre à vingt-quatre douzaines de claques en un jour.

§ IV. — *Machines diverses, à coudre avec du fil poissé au point de navette, à faire les boutonnières, à coudre les tricots par approchement, etc.*

MACHINE A COUDRE AVEC DU FIL POISSÉ DE MM. HURTU ET HAUTIN. — MM. Hurtu et Hautin qui, depuis quelques années, construisent des machines à coudre à navette pour la confection, les tailleurs et la lingerie, viennent de créer un type nouveau qui, à lui seul, s'il eût pu être terminé en temps utile pour être exposé, eût présenté par son importance et sa nouveauté un intérêt qui n'aurait été dépassé par aucune des machines à coudre françaises et étrangères exposées. Par l'invention de cet appareil, ils ont résolu l'un des problèmes le plus à l'ordre du jour dans la fabrication de ce genre d'instruments.

Pour nous qui avons vu de près et suivi les nombreux mais infructueux essais de personnes qui ont tenté de mettre leurs idées en pratique, relativement à l'emploi du fil poissé, par la machine à coudre au point de navette, nous considérons comme un fait important le résultat obtenu par ces fabricants. Plusieurs difficultés sérieuses se présentant ensemble étaient à vaincre : d'abord celle de percer dans le cuir une épaisseur quelquefois considérable, allant jusqu'à $0^m,03$ ou $0^m,04$; puis la poix du fil de l'aiguille graissait la navette au passage de celle-ci dans la boucle et rendait bientôt son mouvement impossible ; le tirage des fils devait éviter les nœuds et la casse ; leur souplesse devait être conservée, tout en évitant le dépoissage ; enfin il fallait encore éviter le dépoissage qui se produit lorsque le fil voyage dans le trou de l'aiguille.

Tels sont les points qui sont résolus d'une manière satisfaisante et dont le résultat fait que cette machine est employée aujourd'hui manufacturièrement pour les articles de sellerie, de bourrelerie et la couture des fortes courroies de transmission. Elle est, en outre, susceptible d'un grand nombre d'applications, dont les principales sont la couture des voiles de navires avec du fil poissé, les tentes, bâches, sacs, enfin tous les objets d'équipement militaire, même les chaussures.

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer qu'il est très-facile d'obtenir ce que l'on appelle le point de sellier, soit anglais, soit français, par la disposition et la forme de l'alêne qui perce les trous (1). Nous pouvons assurer, après avoir

(1) Si nous avons précédemment cité quelques machines employées dans la sellerie, les objets auxquels elles s'appliquent sont cousus à la soie ou au fil jaune qui, souvent, passe pour être ciré, mais qui ne l'est jamais.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vu fonctionner cette machine non pas sur de petits échantillons, mais sur des pièces entières, qu'elle donne un bon résultat pratique.

Celle de force moyenne qui est installée, marchant par une transmission à vapeur, dans l'atelier de MM. Hurtu et Hautin, coud continuellement des traits et autres objets de sellerie. Alimentée par un bourrelier, elle produit six fois le travail fait à la main par un habile ouvrier quand il s'agit d'un ouvrage courant; mais, pour des coutures à contours quelque peu compliqués, l'avantage de la machine sur l'ouvrier est encore plus considérable, car il est aussi facile de faire suivre à la machine un dessin qu'une ligne droite, tandis que l'ouvrier travaillant manuellement doit prendre des précautions aux dépens de la rapidité du travail, et dans ce cas nous n'estimons pas à moins de huit fois l'avantage du travail de la machine sur celui de la main : voilà pour ce qui concerne la quantité.

S'il s'agit de la bonne exécution, les résultats ne sont pas moins remarquables, car il est facile de régler la longueur du point et de le proportionner à l'épaisseur à coudre. Le serrage peut aussi être plus ou moins fort, à volonté, puis la possibilité de faire les trous avec une alêne avant d'y passer l'aiguille permet d'obtenir de beaux points, le fil emplissant les trous ; enfin la régularité des points est parfaite, l'avancement ayant lieu par un mouvement automatique, ils sont forcément réguliers.

On peut faire usage, avec cette machine, de ficelle ou fil ciré, goudronné ou poissé indifféremment ; la manière dont il est poissé ne gêne en aucune façon sa marche. Ainsi il peut être préparé soit à la main, ainsi que le font les cordonniers, bourreliers et autres ouvriers, ou bien après que le fil a été roulé, Le poissage peut se faire au bain-marie, comme on le pratique dans les usines où il s'emploie en grande quantité.

La production obtenue actuellement, et que nous avons indiquée plus haut, ne semble pas devoir être par la suite susceptible d'une augmentation importante ni devoir atteindre jamais celle des machines à lingerie, confection, etc. 80 à 125 points à la minute, suivant l'épaisseur du cuir, variant de 10 à 13 millimètres, sont, quant à présent du moins, ce que l'on peut obtenir comme production ordinaire, et la raison en est, qu'au delà de cette vitesse, les organes de la couture, par suite de la rapidité du mouvement, ceux surtout qui ont à percer de fortes épaisseurs et à conduire le fil, s'échaufferaient rapidement et deviendraient rouges en fort peu de temps.

Organes du mouvement de la machine. — L'ensemble de la machine se compose de deux sortes de caisses réunies par une partie concave ou bâti en fonte renfermant les mouvements. De l'arrière part un bras fixe en fonte également, ayant la forme d'un arc de cercle portant à son extrémité une tête dans laquelle jouent le porte-alêne et le porte-aiguille. Le bâti peut être monté indifféremment sur une table en bois ou sur un pied en fonte.

La machine est, ainsi que nous l'avons dit, du système à navette cousant avec deux fils comme toutes celles de ce système, mais elle est tout à fait spéciale en ce qui concerne les organes du mouvement propres à l'emploi du fil poissé et qui constituent, à nos yeux, tout le mérite de l'invention. Nous allons considérer séparément les mouvements de l'aiguille, de la navette et de l'entraînement ; enfin nous examinerons la marche et le serrage des fils de la machine dont les dessins sont ci-dessous et qui fabrique des pièces ayant jusqu'à 30 millimètres d'épaisseur.

Aiguille. — L'aiguille A (*fig.* 38) est droite, courte et d'une grosseur proportionnée à l'épaisseur à coudre et au fil à employer ; elle est percée, comme les aiguilles ordinaires, d'un trou rond vers le bas, à partir duquel, et en remontant, on a pratiqué deux rainures destinées à loger le fil de manière à diminuer la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grandeur du trou à percer dans le cuir. Elle est fixée à une petite pièce en retour d'équerre communiquant avec le porte-aiguille ou partie cylindrique renfermée dans un manchon portant deux ouvertures latérales. Ce porte-aiguille est doué d'un mouvement vertical qu'il reçoit d'un grand levier B en arc de cercle articulé en C, prolongé au delà et conduit par un bouton suivant les contours d'une gorge latérale de la came D (*fig.* 38 et 39).

Le poinçon ou alène est fixé comme l'aiguille à un levier en arc articulé en E,

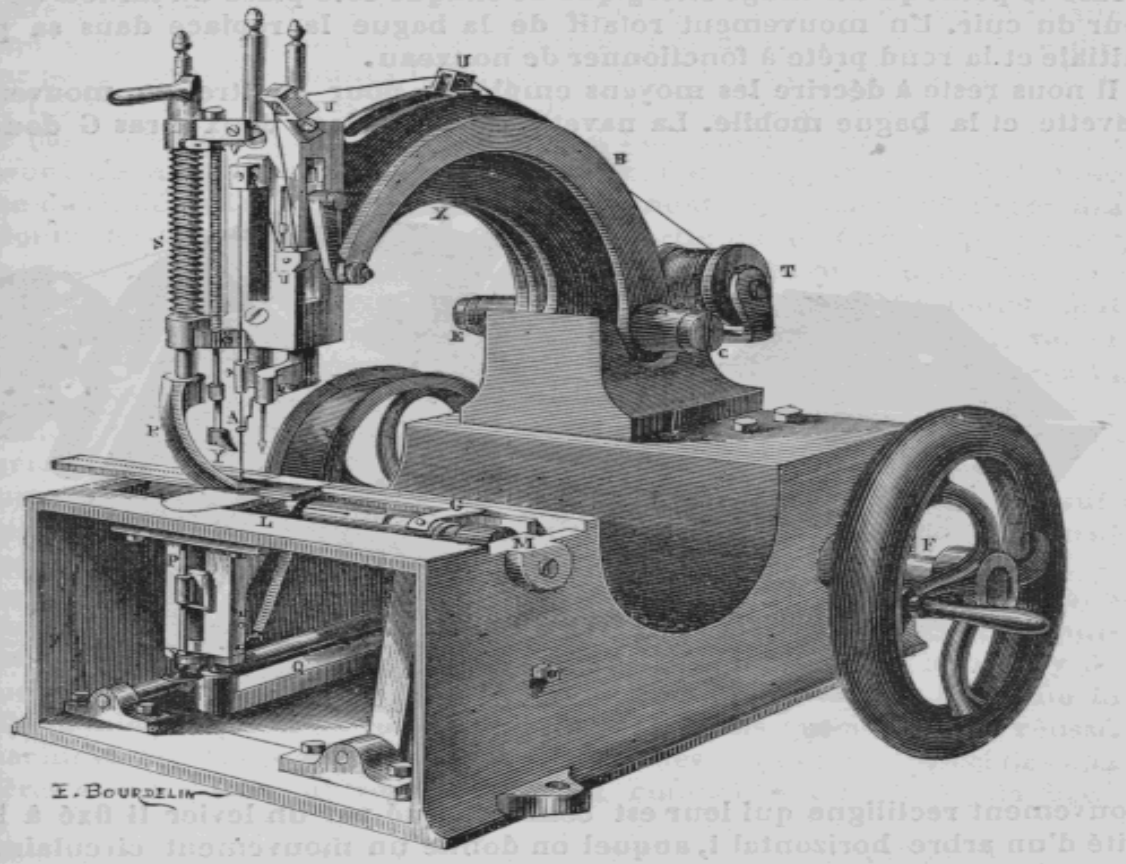


Fig. 38.

et commandé par une came montée sur l'arbre F. Cette came et la précédente sont combinées de façon à ce que le porte-alène soit en haut de sa course lorsque l'aiguille est en bas, et *vice versâ*. En même temps que le porte-aiguille et le porte-alène remontent et descendent, les deux pièces auxquelles sont fixées, l'aiguille et l'alène ont un mouvement de rotation horizontal qui les force à venir piquer en un même point. Le mouvement relatif de ces deux pièces est établi de telle sorte que l'alène vienne d'abord faire un trou dans le cuir, se relève en s'éloignant en arrière, et qu'ensuite l'aiguille, opérant le même mouvement, mais en sens inverse, vienne immédiatement passer le fil dans le trou, disposition fort avantageuse, qui permet à la machine de suivre les contours les plus capricieux.

Navette. — La navette est cylindrique, elle renferme la pelote ou cocon de fil poissé préalablement, son jeu a lieu horizontalement et dans un sens perpendiculaire au levier de l'aiguille ; ses organes, ainsi qu'on va le voir, sont disposés de façon à ce qu'elle ne soit jamais entourée ni touchée par le fil poissé. Pour atteindre ce résultat, de chaque côté du passage réservé à l'aiguille, on a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

disposé deux portions de cylindres dans lesquelles passe la navette ; puis une bague mobile, entourant l'un d'eux, peut s'avancer au bord de la coupure; l'aiguille, en descendant, fait former au fil la boucle qui est prise par une échancrure formant crochet en saillie de cette bague et l'entoure sur elle-même par un mouvement rotatif. L'aiguille étant remontée, la navette passe entraînant son fil; alors seulement un petit mouvement de recul de la bague fait lâcher le fil sur elle précédemment enroulé qui prend celui de la navette et forme le point qu'un tirage énergique de chaque côté place au milieu de l'épaisseur du cuir. Un mouvement rotatif de la bague la replace dans sa position initiale et la rend prête à fonctionner de nouveau.

Il nous reste à décrire les moyens employés pour mettre en mouvement la navette et la bague mobile. La navette est prise dans deux bras G doués d'un

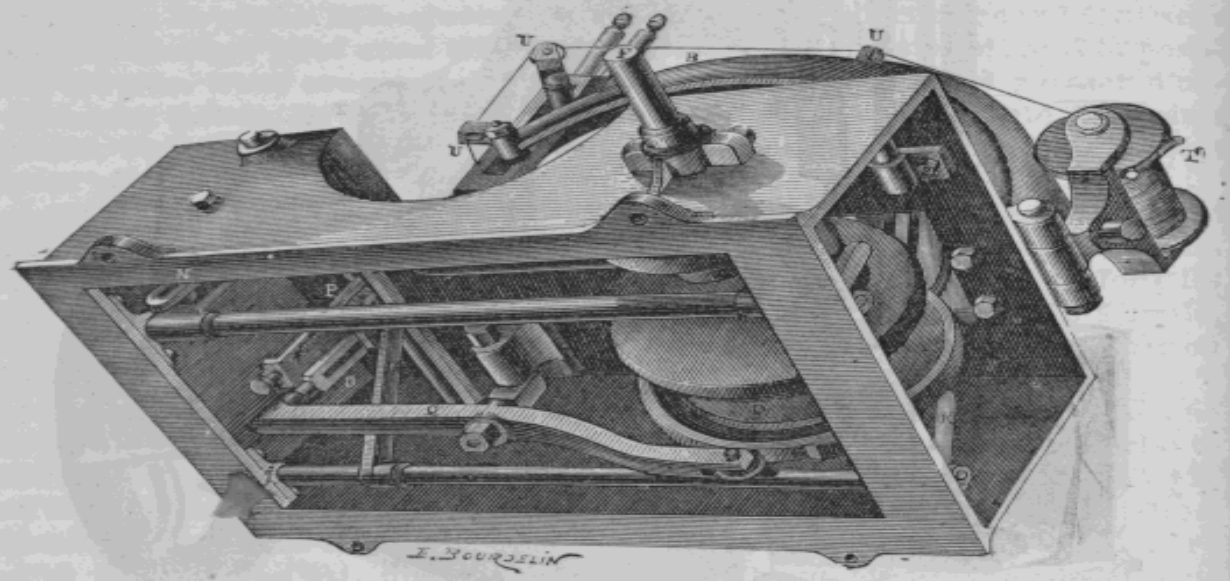


Fig. 39.

mouvement rectiligne qui leur est communiqué par un levier H fixé à l'extrémité d'un arbre horizontal I, auquel on donne un mouvement circulaire alternatif par un deuxième levier K placé à l'autre extrémité et dont le bouton suit la rainure d'une came ; la forme de cette rainure est déterminée par le mouvement à donner à la navette. La bague mobile L a deux mouvements, l'un d'avancement, l'autre de rotation ; elle est fixée à l'une des extrémités de deux bras dont l'autre extrémité porte une partie cylindrique à gorge dans laquelle suit un bouton fixé au bout d'un levier articulé en son milieu et un pignon denté M, en connexion avec un secteur également denté. Le levier ci-dessus N est calé sur un arbre qui, à son autre bout, porte une équerre conduite par une came dont la rainure fait produire le déplacement, d'ailleurs peu considérable, de la bague mobile. Enfin le secteur fixé à une tige qui fait va-et-vient par l'effet d'un bouton roulant dans un excentrique, donne ainsi le mouvement de rotation à la bague dont nous avons expliqué ci-dessus l'effet. Avant de terminer ce qui est relatif à la navette, nous ne devons pas omettre de dire que son fil doit être constamment tenu à une température de 25 à 30°, pour lui conserver une grande souplesse, et à cet effet on place dans la boîte à navette soit un faible bec de gaz, soit une très-petite lampe à esprit-de-vin.

Entraînement. — L'entraînement dans une machine de cette sorte, destinée à des travaux très-différents, doit être évidemment en rapport avec la forme et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le poids des pièces à coudre. Pour les traits et les courroies, qui ont été l'objet principal des applications faites jusqu'ici, il a lieu par une griffe O placée en dessous et fixée à l'extrémité d'un levier à articulation mobile, se déplaçant au moyen d'une vis P qui sert, comme on le voit, à régler la longueur des points ; ce levier repose par un genou sur une pièce longue Q, dont l'autre bout porte sur la circonférence de la came D préparée pour produire les deux mouvements de soulèvement et de translation. Un rouleau presseur R vient, par l'effet d'un ressort S, appuyer fortement sur la pièce et l'empêcher de se soulever. Enfin, il nous reste quelques mots à dire des fils : celui de l'aiguille est enroulé sur une bobine T qui peut en contenir une assez grande quantité ; de là il se déroule pour passer sur des poulies UUU, puis dans le tendeur V et enfin dans l'aiguille. L'anneau dans lequel passe le fil a un mouvement vertical qui lui est donné par un levier en arc de cercle situé à l'intérieur du bras X, articulé en C et recevant son mouvement d'une came ; le ressort appuyant sur la bobine l'empêche de se dérouler trop facilement au moment où s'opère le tirage des fils. On donne le tirage nécessaire au fil de la navette en le faisant passer par plusieurs trous, comme cela se pratique dans les navettes ordinaires. Le serrage du point, lorsque les fils sont tirés, s'opère en donnant un petit mouvement brusque de tirage au tendeur du fil de l'aiguille et à la bobine. On peut le varier à volonté par la pression du ressort sur la bobine du haut. Une petite pièce Y, recevant son mouvement du porte-aiguille, rejette le fil en arrière chaque fois que l'aiguille remonte, afin d'éviter qu'il ne reste dans le passage de l'aiguille qui le traverserait en descendant.

MM. Hartu et Hautin sont certainement arrivés les premiers à un bon résultat; car jusqu'ici, ni l'Amérique, ni l'Angleterre, ni l'Allemagne, n'ont rien présenté de semblable.

Machines a boutonnières. — Les machines les plus nouvelles qui figuraient à l'Exposition universelle étaient destinées à faire des boutonnières. Depuis longtemps déjà les fabricants de machines sont à la recherche des moyens mécaniques propres à reproduire le point de boutonnière tel que l'exécute le tailleur. De nombreux essais ont été faits et quelques-uns ont assez bien réussi.

Sept machines ont été présentées, parmi lesquelles trois étaient spéciales aux boutonnières et les quatre autres faisaient la couture ordinaire et la boutonnière.

Les machines spéciales étaient exposées par MM. *Wheeler et Wilson*, de New-York (États-Unis) ; par la *Compagnie de l Union de Boston* (États-Unis); enfin la troisième par M. *Kieffer*, d'Hagueneau (Bas-Rhin).

Les machines mixtes étaient à MM. *Wheeler et Wilson*, à la *Compagnie Américaine* de Philadelphie, à MM. *Bartram et Fanton*, de Danbury (États-Unis), enfin M. *Clements*, de Birmingham (Angleterre).

Nous ne voulons pas décrire en détail ces diverses machines, nous nous contenterons d'indiquer sommairement le travail que fait chacune d'elles.

La machine spéciele Wheeler et Wilson est à deux aiguilles, l'une en haut, l'autre en dessous; elles sont mobiles, c'est-à-dire qu'au lieu de retourner et conduire l'étoffe, ce sont les aiguilles qui se déplacent. On peut faire des boutonnières de toute grandeur. Le mécanisme de cette machine est des plus ingénieux ; cependant, jusqu'ici elle ne paraît pas d'une application facile et n'a point, que nous sachions, été l'objet d'application en grand.

La machine de la Compagnie de l'Union de Boston est composée de deux aiguilles également ; elle fait le point de boutonnière, mais ici le déplacement de l'étoffe est indispensable, la boutonnière est terminée complétement et arrêtée par la machine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine de M. Kieffer est l'une de celles qui, aujourd'hui, réussissent le mieux les boutonnières dans a lingerie.

Des diverses machines mixtes, il en est une qui mérite une mention spéciale en raison du bon travail qu'elle peut faire comme couseuse d'abord et à cause de la facilité avec laquelle on peut exécuter dessus les boutonnières.

Machine a coudre et a faire les boutonnières de la compagnie américaine de Philadelphie. — La machine mixte exposée par cette Compagnie fait la couture sur lingerie et aussi bien sur confection ou vêtement d'homme; elle fait également bien les boutonnières sur drap. — Les organes inférieurs de la machine servent soit à la couture, soit à la confection des boutonnières, selon que l'on embraye et fait fonctionner les uns ou les autres.

Cette machine, quant à la table et à la partie supérieure, a l'aspect d'une couseuse ordinaire. L'aiguille est droite et fixée à un porte-aiguille recevant un mouvement vertical d'un bras ou levier en équerre, comme dans la machine Seymour, articulé à son angle et dont l'extrémité est conduite par une came ou rainure pratiquée sur un cylindre.

Pour faire la boutonnière, une sorte de grosse aiguille est fixée à l'extrémité d'un levier articulé dont l'autre extrémité est terminée par un galet engagé dans la rainure d'une came qui fait produire à l'aiguille un mouvement de montée et de descente; pendant sa montée, un crochet fixé au porte-aiguille, suivant sa course verticale et doué d'un mouvement curviligne, prend le fil de l'aiguille inférieure, lui fait former une boucle et l'entraîne jusque sous l'aiguille verticale qui descend avec son fil dans cette boucle et forme le point de boutonnière. Ainsi, l'aiguille inférieure traverse la fente de la boutonnière tandis que l'autre pique à une petite distance où les deux fils se réunissent pour former une sorte de nœud.

Pour donner plus de solidité à la boutonnière, on applique une passe ou gros fil sur le bord de chaque côté; l'œillet se fait bien et la boutonnière a bonne façon. Mais ce qui s'exécute bien sur un échantillon est plus difficile à réussir sur un vêtement d'hiver, qu'il faut retourner bout pour bout pour faire suivre la fente et l'œillet. Les boutonnières sur drap nous ont paru beaucoup mieux réussies que celles sur lingerie.

Pour coudre avec la même machine on débraye le levier de l'aiguille du dessous qui reste immobile, et l'on embraye le bout d'un autre levier dans la rainure d'une troisième came; l'on fait ainsi tourner un arc qui retient, à l'aide de plusieurs ressorts et d'une plaque d'appui, la navette contenant le deuxième fil (1). Cette navette est d'une forme spéciale, en rapport avec la bobine de fil qu'elle contient, et dont l'épaisseur est de 5 à 6 millimètres, ses bords ont environ 12 à 15 millimètres de diamètre; elle reçoit une assez grande quantité de fil et est maintenue par un petit ressort; le tirage est donné par la bobine d'abord, puis en faisant passer le fil sur un axe que l'on peut tourner à volonté et très-facilement, ce qui permet de régler sa tension absolument au degré voulu, effet qui est toujours difficilement obtenu par le moyen du réglage ordinaire en passant le fil dans les trous, ainsi que cela se fait dans les navettes Howe. Le tirage du fil de l'aiguille du dessus est donné par un poids que l'on place sur la bobine pour l'empêcher de se dérouler trop vite et par une vis à ressort.

L'entraînement a lieu en dessous par une griffe que l'on peut faire sortir plus ou moins de la plaque, selon le travail que l'on exécute, de même qu'un ressort sert à augmenter ou à diminuer la pression du presse-étoffe. La facilité

(1) Ce mouvement de la navette suivant un arc de cercle est dû à MM. Grover et Baker, dès 1855, l'avaient appliqué à une machine à coudre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec laquelle on peut varier les mouvements de ces deux organes permet a cette machine de coudre à volonté des tissus fins ou des tissus épais. On peut en varier beaucoup les épaisseurs et exécuter tous les ouvrages qui se font habituellement sur les machines à coudre.

Le point de boutonnière permet encore d'assembler des étoffes en faisant une couture peu sensible, ou par approchement en faisant toucher les bords, ou même en laissant un jour entre les deux parties.

L'aiguille verticale a deux trous, l'un près de la pointe comme dans les machines ordinaires, on s'en sert pour coudre; le deuxième trou, placé un peu plus haut que le premier, reçoit le fil quand on exécute la boutonnière.

Les autres machines mixtes ne présentaient aucune particularité qui mérite d'être signalée; au contraire, certaines avaient en elles des défauts qu'on doit éviter à tout prix dans un outil semblable : ainsi, la machine mixte Wheeler et Wilson cousait deux rangées de points zigzag rapprochés, puis l'on coupait entre les deux pour faire la fente de la boutonnière; l'œillet ne se faisait pas, et, de plus, en coupant après, l'on courait le risque d'attaquer les fils, soit d'un côté, soit de l'autre, ou bien l'on était obligé de laisser, entre les deux rangée de points, une distance assez grande qui retirait à la boutonnière toute sa solidité.

Machine a coudre la bonneterie de M. Leduc, de Troyes. — Les tricots coupés, ainsi que ceux avec lisières, se réunissent ordinairement à la main par une couture appelée couture à l'anglaise, à cause de la manière toute particulière dont le fil est passé dans chaque maille.

M. Leduc est parvenu à faire une machine qui imite ce point; elle travaille avec deux aiguilles placées l'une à côté de l'autre, et les deux bords à unir sont séparés par un guide central; l'une des aiguilles prend une petite partie d'un côté du tricot, l'autre aiguille prend une faible partie de l'autre côté, et les deux fils sont noués par le fonctionnement d'un crochet placé sous le plateau de la machine; les aiguilles sont disposées pour prendre de chaque côté la deuxième maille des bords des tricots à assembler.

Cartouches de fils bobinés a l'avance par MM. Neveux frères. — MM. Neveux frères fabriquent des cartouches qui contiennent des fils bobinés à l'avance avec un très-grand soin et avec des machines qui donnent un enroulement parfait; ils les livrent prêtes à être mises dans les navettes des machines à coudre. Ces cartouches dispensent les ouvrières d'avoir des dévidoirs et des canettes, puisqu'elles n'ont plus besoin de faire le dévidage elles-mêmes. La figure 40 montre une cartouche placée dans une navette.



Fig. 40.

Les cocons, contenant beaucoup plus de fil qu'il n'est possible d'en mettre sur une canette, sont ensuite recouverts par une enveloppe ou cartouche en papier roulé, qui empêche toute altération des fils; ceux-ci, dans l'usage, sont tirés de la cartouche, comme on tire ordinairement la ficelle d'une pelote, c'est-à-dire de l'intérieur; il en résulte que ce fil est doué d'une tension uniforme et permet de faire des coutures d'une plus grande régularité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONCLUSION.

Nous terminerons ici ce travail sur les machines servant actuellement à la confection du vêtement, industrie nouvelle dans ses trois principales branches. Nous avons pu donner une idée de la fabrication mécanique du chapeau de feutre qui, depuis dix ans, a fait de grands progrès et qui voit chaque jour s'en accomplir de nouveaux. Néanmoins quelques problèmes très-importants nécessitent encore de laborieuses recherches; tels sont le remplacement du sécrétage au nitrate de mercure par un autre liquide appliqué mécaniquement, le perfectionnement des fouleuses et des machines à dresser, problème ardu, mais dont on ne doit pas désespérer de trouver la solution à laquelle on travaille de divers côtés.

La fabrication des chaussures, bien que se faisant mécaniquement dans plusieurs de ses parties, laisse encore à désirer quant aux moyens de fixation des semelles; cependant, on doit reconnaître que, depuis dix ans, il s'est accompli des progrès considérables dans cette industrie, surtout au point de vue économique.

Enfin, l'industrie des machines à coudre a pris sa place dans la fabrication mécanique; nous avons dû le plus souvent, pour ce qui concerne ces appareils, nous borner à des descriptions sommaires, mais qui, nous l'espérons du moins, seront, grâce aux nombreuses gravures accompagnant le texte, assez intelligibles et assez complètes pour les personnes qui s'intéressent à leur fabrication ou à leur usage. Ce travail a été rédigé sur les machines mêmes et à l'aide des documents émanant des meilleures sources; des expériences ont été faites sur les appareils les plus nouveaux qui sont encore peu connus, ce qui nous a permis de pouvoir décrire avec exactitude les types les plus importants. Nous avons cherché à établir la part que chacun a prise dans la création et le développement de cette nouvelle industrie, et nous serons satisfait si nous avons pu y réussir.

G. BARDIN.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XII

LA SUCRERIE

INDIGÈNE, ÉTRANGÈRE ET EXOTIQUE

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867.

PAR M. **N. BASSET.**

III

La sucrerie touche à tant d'intérêts vitaux pour les populations, elle embrasse tant de choses importantes pour les sociétés modernes, que l'étude, même sommaire, de cette grande industrie, demanderait des volumes entiers. Je ne puis, aujourd'hui qu'esquisser à grands traits les principales observations suscitées par l'exposition sucrière ; je vais chercher à remplir aussi scrupuleusement que possible, le programme que je me suis imposé. Dans un premier article, j'ai tracé une idée générale de la situation des sucres à l'Exposition [1] : un second travail m'a permis de voir la question de plus près et d'étudier les sucres français, indigènes et exotiques [2] ; j'ai pu constater la faiblesse de notre fabrication en général et faire toucher du doigt les erreurs commises par le jury et les exposants. Il me reste à parler de la sucrerie étrangère, quant à ses produits, et à passer en revue les questions d'outillage.

§ IV. **Sucrerie étrangère.**

D'après les catalogues officiels, il serait à peu près impossible de voir clairement la situation de la sucrerie, et je vais chercher à faire un peu d'ordre avec ce désordre.

A. — Le royaume des PAYS-BAS, qui tenait autrefois le monopole de la raffinerie, est loin d'occuper aujourd'hui la même situation. Les sucres néerlandais étaient représentés par *trois* exposants seulement, MM :

Spakler et *Tetterode*, sucres raffinés ;
La *Raffinerie néerlandaise*, sucres raffinés ;
La *Compagnie hollandaise des Indes orientales*, qui expose des sucres de canne avec des cafés, du poivre et des épices.

Est-ce par considération pour les splendeurs historiques de la raffinerie hollandaise que le jury a récompensé tout le monde dans l'exposition sucrière des Pays-Bas ? Je ne sais trop, en vérité ; mais je sais que l'on a attribué une *médaille d'argent* à la Compagnie hollandaise, pour ses cafés et ses sucres, que la raffinerie néerlandaise a obtenu une *médaille de bronze* et que MM. Spalker et Tetterode ont reçu une *mention honorable* seulement.

Je serais fort heureux d'apprendre, pour mon instruction personnelle, quelle

1. Tome Ier des *Études*, page 205.
2. Tome III des *Études*, page 154.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

différence le jury a pu trouver entre les gros sucres à facettes de la raffinerie néerlandaise et ceux de MM. Spalker et Tetterode ; je n'ai jamais pu comprendre la différence de deux identités que par zéro ou égalité.

B. — Le royaume de Belgique ne manque pas de sucreries de betterave ; loin de là, car dans un pays d'aussi petite étendue, l'industrie sucrière est très-développée. Comment se fait-il donc que l'exposition sucrière belge soit si pauvre? Elle est représentée par MM. :

Capouillet (C.-H.), de Bruxelles, raffinés, grains fins et gros grains ;
Capouillet (P.), Raffineries en poudre et pilés.
Dekonink (S.), — sucres divers ;
Duchâteau-Bougy (Madame veuve), de Blaton, sucres bruts ;
Legrand et *Lecreps*, du Grand-Hornu, bruts et raffinés ;
Mechelinck (J.-L.-O.) de Terdonck, sucre brut, gros grain ;
Neyt et fils, de Gand, raffinés en pains et candis ;
Tydgadt (L.) et C^ie^, de Selbaete, sucre brut de betterave ;
Vercruysse-Bracq (A.), de Gand, candis de canne ;
Wyndt-Aertz (de), d'Anvers, candis.

Le jury ne s'est pas montré prodigue envers la sucrerie belge. La raffinerie du Grand-Hornu a obtenu une *médaille d'argent*. La *médaille de bronze* a été attribuée à M. de Wyndt-Aerts pour ses candis, et à MM. Neyt et fils pour leurs raffinades ; on a décerné la *mention honorable* à MM. Vercruysse-Bracq et P. Capouillet, et l'on n'a pas été plus loin. Le jury me permettra-t-il de lui dire que les raffinés de MM. Neyt valaient mieux que cela et que les sucres bruts de MM. Mechelinck et Tydgadt n'étaient pas sans mérite ? Quand on a vu tant d'indulgence pour des sucres impossibles, candis, bruts, ou raffinés, dans la section française, c'est à bon droit que l'on est étonné par de telles inconséquences. Je n'en dirai pas davantage à ce sujet, car je suis loin d'être affligé de monomanie en faveur des Belges ; il y a bien assez à dire de ci de là sur leur compte ; mais les petites critiques qu'on pourrait leur adresser n'ont absolument rien à faire ici. Un exposant acquiert par le fait le droit à l'impartialité la plus absolue et à un examen sérieux de ses produits. Quand on a donné une médaille de bronze aux candis de M. Cossé-Duval, on pouvait être moins parcimonieux à l'égard de l'exposition belge.

C. — Le royaume de Prusse offre à l'admiration des vrais connaisseurs l'*exposition collective des fabriques de sucre de betterave du Zollverein*. La Saxe, la Silésie, la Poméranie, le Hanovre, le Wurtemberg, les duchés de Brunswick, d'Anhalt, de Saxe-Weimar et la principauté de Waldeck sont représentés par quarante-six exposants, dont les produits affirment l'attention minutieuse que la race germanique apporte dans ce qu'elle fait. Des cristaux admirables de forme et de nuance, parfaitement purgés et bien secs, des raffinés splendides, des candis de toute beauté appellent l'examen des praticiens. Il y a là de la fabrication courante, des échantillons spéciaux, et les fabricants du Zollverein ont démontré que l'on peut atteindre la perfection avec la betterave et lutter avec les produits de la canne, bien que celle-ci soit moins rebelle au travail manufacturier.

Franchement, c'est là une belle et bonne exposition. Le jury ne pouvait faire autrement que de voir ces progrès, et, comme tous ceux qui ont vu, il a été entraîné.

Je cite les noms des exposants récompensés seulement, et cette liste comprend la presque totalité des fabricants du Zollverein.

La *médaille d'or* a été décernée à MM. :

Bennecke (C.), *Hecker et Compagnie* (Saxe), pour leurs raffinades ;
Hennige (Jacob), — mêlés ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Wagnacusel (Sucrerie de), (Bade), raffinade et candis ;
Wrede et *Klamroth* (Saxe), sucre brut ;
Glauzig (Fabrique de), (Anhalt), mêlés.

Le Jury a attribué la *médaille d'argent* à MM. :

Fischer (C.-L.-H.), (Saxe), pour ses raffinades et mêlés ;
Sombart (A.-L.) *et Compagnie* (Saxe), sucres bruts ;
Rimpau (A.), de Schlanstedt, —
Jonas et *Lingner* (Poméranie), —
Maquet (C.-H.), (Saxe), mêlés ;
Seeliger (E.), (Brunswick), mêlés ;
Grassau (L.-H.) et fils, (Brunswick), candis ;
Coqui (L.-A.), (Anhalt), sucres bruts ;
Waldau (Fabrique de), (Anhalt), sucres bruts, gros cristaux.

La *médaille de bronze* a été attribuée à MM. :

Baumann et *Maquet* (Saxe), mêlés, *produit direct du jus* ;
Banck (H.-L.); (Saxe), sucres bruts et cristaux ;
Jacob von Rath (J.) fils, (Silésie), mêlés, *produit direct du jus* ;
Treutter et *Scherzer*, — sucres bruts ;
Trendelbusch (Fabrique de), —
Holland (Fabrique de), (Anhalt), raffinade, mêlés et cassonade ;
Gutschdorf (Fabrique de), (Silésie), sucres bruts et mêlés ;
Irxleben (Fabrique de), (Saxe), raffinade et mêlés ;
Beurmann (de), — sucres bruts ;
Barleben (Fabrique de), — gros cristaux ;
Kitzing et Compagnie, (fabrique de Brehna), (Saxe), sucre brut en grains ;
Zuckschwerdt (H.) (Anhalt), — —

La *mention honorable* a été attribuée à MM. :

Heine (F.), (Saxe), pour ses sucres bruts en grains ;
Honig, — — —
Spielberg (J.-W.) et fils, (Saxe), pour ses sucres bruts en grains ;
Strauss (H. et A.), — — —
Wrede et fils, — — —
Wiersdorff, *Hecker et Compagnie*, (Saxe), — —
Berge, *Braun et Compagnie*, — — —
Wrede, *Schütze et Compagnie*, — — —
Berecht et *Fricke*, (Silésie), — —
Koppe frères, — — —
Muenchausen (de), — — —
Neuwerk (Fabrique de), (Silésie), — —
Van Heuvele (Madame veuve A.-F), (Hanovre), candis ;
Allstedt (Fabrique de), (Saxe-Weimar), sucres bruts ;
Wicke (F.), (Waldeck), candis ;

En tout, *cinq* médailles d'or, *neuf* médailles d'argent, *douze* médailles de bronze, *quinze* mentions ; soit *quarante et une* récompenses sur quarante-six exposants.

Nous sommes bien loin ici du système Périer, Possoz et Cail ; tous ces sucres sont fabriqués par des méthodes connues en France, mais qui offrent au moins le mérite d'être rationnellement appliquées. Extraction des jus par la pression après râpage, ou par la macération des cossettes fraîches ou conservées, ce que les Allemands nomment diffusion ; défécation attentive ; élimination de la chaux par divers agents, parmi lesquels je vois avec plaisir le phosphate de chaux ; emploi exagéré du noir, en attendant mieux ; cuite dans le vide et attention scrupuleuse dans les opérations ; tels sont les points principaux à noter dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la fabrication allemande. Il y a sans doute mieux à faire ; mais si l'on ajoute à cela un soin extrême dans le choix des betteraves, qui donnent souvent 14 à 16 pour 100 de sucre, on comprendra que l'on fait de la sucrerie une question sérieuse dans les pays d'outre-Rhin, ce dont nous sommes loin de pouvoir nous vanter, malgré nos tendances emphatiques.

Dans tous les cas les produits sont là, et les lavages ne nous donnent pas de quoi soutenir la comparaison, même avec l'appui de tous les chaudrons et engins imaginables.

D. — Les produits sucriers de l'empire d'Autriche sont également très-remarquables ; mais la disposition matérielle de l'exhibition a contribué à détourner un peu l'attention des visiteurs. La dissémination des produits bruts et le défaut de groupement ont fait laisser dans l'ombre des choses excellentes, qui gagnent à être vues, même après une visite au Zollverein. Les exposants de l'empire sont au nombre de vingt-deux pour les sucres, MM. :

Althan (comte Charles M.), (Bohême) ;
Bachofen d'Echt, (Bohême) ;
Barsdorf (Fabrique de), (Silésie) ;
Bauer (Maurice), (Moravie et Hongrie), bruts et raffinés ;
Bauer (Théodore), (Moravie), sucres et sirops ;
Clam-Martini (comte Henri Jaroslas de), (Bohême) ;
Boschan (Joseph), (Basse-Autriche) ;
Czermin-Chudenic (comte Eugène), (Bohême), sucres et candis ;
Gold (Jean-Henri), (Silésie), raffinés ;
Koniggratz (Fabrique de), (Bohême) ;
Kuffner, (Moravie) ;
Larisch-Moennich (comte de), (Silésie), raffinés et candis ;
Lobkowitz (prince de), (Bohême) ;
Lusetz (Fabrique de) ;
Robert et Compagnie, (Moravie), sucre raffiné ;
Schoellen (Alexandre), (Bohême) ;
Schwartzemberg (prince Jean-Adolphe de), (Bohême) ;
Serlowitz (Robert-Florent), (Moravie) ;
Sina (baron Simon de), —
Thun-Hohenstein (comte), (Bohême) ;
Troppau (Raffinerie de), (Silésie) ;
Wiltms (Fabrique de), (Bohême).

Récompenses obtenues : la *médaille d'or* a été décernée à MM. Schoeller, A. et Gold J.-H. ; la raffinerie de Troppau, MM. le comte Clam-Martini, le comte Larisch Moennich ont obtenu la *médaille d'argent ;* le jury a attribué la *médaille de bronze* à MM. Bauer (Maurice), le comte Thun Hohenstein, le comte Althan, Bauer (Théodore), et à la fabrique de Barsdorf; aucune *mention honorable* n'a été donnée et le nombre des exposants récompensés s'élève à dix !

Le voisinage de la Prusse a fait tort à l'Autriche. Il est certain pour tous les observateurs attentifs que les raffinés autrichiens, aussi bien que ceux du Zollverein, valent les raffinés français, et je dois dire que je n'ai pas vu grand'chose de préférable aux sucres bruts de M. Th. Bauer, même parmi des produits plus appréciés. J'ai regretté de ne pas voir figurer le nom de M. Robert sur la liste des récompenses, et l'impression que laissent certains jugements est assez pénible. Les raffinés autrichiens sont d'un grain fin et d'une belle pâte ; ils dénotent une fabrication soignée. Les sucres bruts sont secs, bien purgés, d'une bonne nuance claire, et ils accusent autant de soin et d'attention usinière que les produits du Zollverein. Je n'ai vu de différence notable que dans certains détails secondaires, tels que la forme et la grosseur du grain cristallin, auxquels

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les exposants autrichiens me semblent s'être moins attachés. Les candis auraient mérité d'être distingués par le jury et traités à l'égal des meilleurs produits de ce genre.

E. — L'Espagne n'a pas donné signe de vie quant aux sucres. Je sais cependant, de source certaine, qu'il s'opère dans la Péninsule un mouvement notable vers la culture de la canne, et que des efforts sont tentés pour ressusciter l'industrie sucrière. Pourquoi donc tant d'apathie et pourquoi les colonies espagnoles, dont les sucres ont une haute valeur sur le marché, ne se sont-elles pas fait représenter au grand concours industriel avec plus d'entrain et d'énergie ?

Il y a eu quelque chose de ce côté, sans doute, mais je me serais attendu à voir plus et mieux.

MM. *Poey* (Juan) et *Alfonso* (Juan Manoel), de Cuba, ont obtenu la *médaille d'or*, pour leurs sucres de canne. La *médaille d'argent* a été accordée à M. *Chaves* (Miguel), de la même colonie ; la *médaille de bronze* a été décernée à MM. *Millan de Garcia*, de Cuba, et *Martinez* (José), des Philippines ; MM. *Brioussaire* (Cipriano) et *Caturia* (José), de Cuba, ont obtenu une *mention honorable*.

Les sucres de Cuba s'améliorent notablement, et l'on doit savoir gré aux fabricants des sacrifices qu'ils s'imposent pour atteindre de bons résultats et combler les vieilles ornières. Il s'en faut cependant que la perfection soit obtenue. La cristallisation assez peu soignée, la purge incomplète, la présence des sucrates qui donnent des produits gras, et l'insuffisance de la défécation sont autant de points sur lesquels on doit appeler toute l'attention des planteurs-fabricants. Je sais que plusieurs d'entre eux font de la nuance par des lavages excessifs, comme la chose se pratique chez les fabricants européens. Cette manœuvre antimanufacturière ne prouve qu'une chose, c'est qu'ils ont pris justement le plus mauvais côté d'un mauvais travail, car une simple clairce au sirop dans la turbine suffit à donner de beaux produits, s'ils sont bons d'ailleurs et ont été bien fabriqués.

F. — Le Portugal est resté dans la même stagnation que sa voisine, quant à la métropole. J'ajoute que les colonies portugaises semblent avoir délaissé le sucre pour le café. En résumé : néant !

G. — La Suède a exposé, au nom de la raffinerie de *Tanto*, de beaux sucres en cristallisation fine, de belles poudres et de beaux candis. La sucrerie de *Landskrona* fait voir de bons échantillons de sucre colonial et indigène, en brut et raffiné. Ces deux établissements ont obtenu la *médaille d'argent*, et c'est justice.

H. — Même observation et même résultat pour la raffinerie du *Phœnix*, de Copenhague, qui représente le Danemark.

I. — L'empire de Russie est aujourd'hui l'un des centres de la production sucrière indigène la mieux comprise. Les sucres russes laissent bien loin derrière eux tous nos produits français, et la comparaison n'est possible qu'entre les raffinés. Je préférerais même les sucres bruts de la Russie à ceux du Zollverein, parce qu'ils sont plus secs et plus conservables ; mais ils ont été lavés, pour la plupart, dans une mesure qui me paraît exagérée. La purge à la vapeur dans la turbine est une bonne chose ; mais, comme de toutes les bonnes choses, il ne faut pas en abuser.

Dans l'intérêt du lecteur, j'emprunte, sur les exposants russes, les documents suivants au catalogue spécial de la commission impériale.

Les fabricants de sucre exposants sont MM. :

Apraksine (le comte Jean). Sucre brut... ; sucrerie fondée en 1848. Production, 15,000 pouds [1], pour 275,000 roubles [2]. — 600 ouvriers.

1. Le poud vaut 40 livres russes de 410 grammes (= 16 kil. 38).
2. Le rouble vaut 100 copecks ou 4 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Bernardaki (Dmitry). Sucre brut de betterave.... Prix du poud : 6 roubles (le kil. — 1 fr. 46). Sucrerie fondée en 1848. Production. 100,000 pouds, pour 550,089 roubles. — 800 ouvriers.

Branicki (le comte Ladislas). Sucre raffiné... Prix du poud : 8 roubles... Raffinerie fondée en 1848. Production, 200,000 pouds de raffiné, pour 1,500,000 roubles. — 400 ouvriers.

Vassiltchikoff (le prince Victor). Sucre brut en farine... Prix du poud : 7 roubles... Sucrerie fondée en 1839. Production, 30,000 pouds de sucre. par 60,000 berkovetz[1] de betteraves, pour 180 à 240 roubles. — 350 ouvriers.

Vestine (Cornélius). Sucre brut et sucre raffiné... Prix du sucre brut, le poud : 7 roubles; du sucre raffiné, le poud : 8 roubles... Sucrerie fondée en 1834. Production, 30,000 pouds de brut et 30,000 pouds de raffiné, pour 480,000 roubles. — 600 ouvriers.

Gerke (Frédéric et Édouard). Sucre raffiné... Prix du poud : 7 roubles 50 copecks. Production, 60,000 pouds, pour 510,000 roubles. — 600 ouvriers.

Compagnie Daniloff (raffinerie de *Trokhgorny*). Sucre raffiné... Prix du poud : 8 roubles... Raffinerie fondée en 1859. Production, 50,000 pouds, pour 2 millions de roubles. — 135 ouvriers.

Dolgorouky (la princesse Marie). Sucre brut... Prix du poud : 6 roubles... Sucrerie montée en 1842, emploie plus de 40,000 berkovetz de betteraves. Valeur de la production, 150,000 roubles. — 400 ouvriers.

Joukowsky (Étienne). Sucre brut... Prix du poud : 6 roubles.

Cail, *Galot* et *Beckers*. Sucre brut... Production, 200,000 pouds, pour 1 million de roubles.

Kronenberg (Léopold). Sucre raffiné... Prix du poud : 6 roubles 33 copecks... Sucrerie fondée en 1853. Production, 120,000 pouds, pour 900,000 roubles. — 1200 ouvriers.

Natanson (Jacques). Sucre brut et sucre raffiné... Prix du poud en raffiné : 7 roubles. Prix du poud en brut cristallisé : 6 roubles... Deux établissements, dont l'un produit 75,000 pouds, pour 500,000 roubles, avec 250 ouvriers, et l'autre produit 100,000 pouds pour 700,000 roubles, avec 250 ouvriers.

Nostitz-Iackowski (Joseph). Sucre en morceaux; sucre brut... Prix du premier, le poud : 6 roubles 50 copecks... Sucrerie fondée en 1858. Production, 20,000 pouds pour 120,000 roubles, par les appareils centrifuges, avec 80 ouvriers. En outre, 30,000 pouds pour 150,000 roubles, par les presses, avec 250 ouvriers.

Potocki (le comte Alfred). Sucre raffiné. Le poud, de 7 roubles 50 cop., à 9 roubles 50 cop... sucre brut. Le poud, de 5 roubles 25 cop. à 6 roubles 75 copecks. Établissement fondé en 1859.

Potocki (la comtesse Marie) et *Sanguszko* (le prince Roman). Sucre raffiné... Prix du poud : 9 roubles... Une raffinerie et cinq sucreries, fondées en 1846. Production, 200,000 pouds de sucre, pour 1,600,000 roubles. — 250 ouvriers habituellement; 1300 de plus en automne.

Scalon (Nicolas). Sucre brut...

Skirmoundt (Alexandre). Sucre raffiné... Prix du poud : 7 roubles 50 copecks. Établissement fondé en 1860. Production, 15,000 pouds sucre et sirop, pour 100,000 roubles. — 120 ouvriers.

Soukhovo-Kobyline frères. Sucre brut blanc; le poud : 7 roubles 20 cop... Sucre brut jaune, clairée, le poud : 5 roubles 60 copecks... Sucre brut jaune, non clairée, le poud : 4 roubles 80 copecks... Sucrerie fondée en 1846. — Production, 15,000 pouds, pour 100,000 roubles. — 220 ouvriers.

Epstein (Germain et Cie). Sucre raffiné... Prix du poud : 6 roubles 66 3/4 copecks... Sucrerie de Lyskowice, fondée en 1851. Production, 75,000 pouds, pour 609,000 roubles. 420 ouvriers... — Sucrerie de Hermanow, fondée en 1830. Production, 60,000 pouds, pour 400,000 roubles. — 600 ouvriers.

Epstein (Léon). Sucre raffiné... Production, 60,000 pouds, pour 500,000 roubles. — 600 ouvriers.

Ianasz (Jacques). Sucre brut, grains fins et gros grains, cristallisé et pilé. Production.

1. Le berkovetz valant 10 pouds ou 163 kil. 80, cet établissement emploie 10,000,000 de kil. de betteraves (9,828,080 k.) qui rendent 491,400 k. de sucre brut, soit 5 pour 100 du poids de la racine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

60.000 pouds pour 100,000 berkowetz de betteraves, avec 150 ouvriers. Macération Robert perfectionnée.

Ajoutons que la culture de la betterave, en Russie, occupe environ 109,000 hectares (100,000 dessiatines); que la récolte est de 6,476,060 berkovetz, à 85 copecks. Cette récolte est traitée dans 273 fabriques (1865), où l'on produit au moins 3,333,573 pouds de sucre, en occupant 61,672 ouvriers [1]. Nos fabricants de sucre peuvent voir que s'ils s'endorment dans le sentiment de leur habileté, si profondément enraciné et si rebelle à toutes les démonstrations, le temps n'est pas loin où la Russie deviendra le marché au sucre, comme déjà elle est le marché au froment. Quelle leçon amère pour les vanités satisfaites, lorsque, dès maintenant, la Russie leur montre des produits dont aucun de nos grands fabricants n'a pu approcher quant à la beauté et aux qualités réelles !

Le jury a décerné la *médaille d'or* à MM. Vestine et Epstein H. et Ce. MM. le comte Branicki, Cail-Galot-Beckers, et Natanson ont obtenu la *médaille d'argent* ; celle de *bronze* a été accordée à MM. Ianasz, le prince Vassiltchikoff, Soukhovo-Kobyline et L. Epstein. La *mention honorable* a été attribuée à MM. Gerke, Scalon et Joukowski.

Rien à dire contre un jugement aussi inconsidéré, par lequel on met en oubli des produits valant dix fois ce qui a été médaillé ailleurs, sinon que, pour juger le sucre, il faut le connaître et que le jury n'a pas pu connaître le sucre. Ses décisions auraient été toutes différentes, si les produits des nations exposantes avaient été étudiés *comparativement*.

J. — L'Italie n'expose rien qui lui soit propre dans l'industrie sucrière et productrice. Il est à espérer que, dans un délai rapproché, la betterave fera son invasion dans les plaines de la Lombardie, et j'ai lieu de croire que le temps n'est pas loin où la précieuse racine fera dans ce beau pays une révolution pacifique et durable. Déjà, grâce à l'initiative d'hommes intelligents et dévoués au progrès, les questions culturales et manufacturières qui se rattachent à la betterave ont été mises à l'étude, dans le but d'éclairer la pratique par les notions d'une saine théorie.

K. — L'Égypte expose de *petits* échantillons de sucre blond, raffiné et candi provenant de la canne et fabriqués à Minieh. Ce sucre en vaut bien d'autres ; mais rien ne donne une idée industrielle à la vue de ces spécimens minuscules.

L. — Les États-Unis d'Amérique n'offrent qu'une exposition sucrière insignifiante. Tout porte à présumer, cependant, que l'industrie des sucres, rudement éprouvée par les événements, remontera bientôt à son ancienne splendeur.

MM. *Davidson*, *Johnson*, *Lawrence*, *Standford*, *Williams*, *Oblesby*, *Sabatier et Valcour* présentent des sucres assez beaux, quoique un peu gras. L'État du *Missouri* offre à l'observation du sirop de sorgho.

La *médaille d'argent* a été attribuée à M. Lawrence pour ses sucres bruts de canne. Il y a mieux cependant. M. Johnson a obtenu la *médaille de bronze*. Enfin, la *mention honorable* a été décernée à MM. Davidson et Sabatier.

M. — Il me paraît impossible de conserver la moindre illusion en présence des sucres du Brésil. Quand on examine ces produits, même les meilleurs, et que l'on songe à la richesse de la canne, à la facilité du travail qu'elle exige,

1. De ces données il résulte que l'hectare de terre produit, en moyenne, environ 63,000 kil. de racines, valant environ 20 francs les 1000 kilogrammes [1].

1. Nous ferons observer que ces renseignements sont puisés à une source officielle russe, le catalogue publié par la commission impériale de cet empire, et qu'il se pourrait qu'il y eût dans les chiffres cités comme production et comme nombre d'ouvriers employés, bien des exagérations. (*Note de l'éditeur.*)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on sent que le terre-à-terre de la routine est presque le seul guide suivi par les fabricants. Tous les hommes intelligents du Brésil comprennent d'ailleurs la nécessité d'une réforme radicale dans le travail manufacturier, sous peine de voir cette magnifique contrée se plonger de plus en plus dans le marasme industriel.

La fabrication du Brésil ne peut être justement appréciée si l'on ne fait pas abstraction à la fois des progrès réalisés par la pratique moderne, et des procédés primitifs de l'ancienne sucrerie. Les résultats ne sont ni comparables en beauté à ce que l'on obtient ailleurs avec un travail passable, ni assimilables à l'ensemble des produits inférieurs d'autrefois, qui ont presque disparu du marché. Ils constituent une sorte de terme moyen entre ces deux extrêmes, et les beaux sucres brésiliens rappellent les sucres à *une terre* de la fabrication coloniale, du n° 14 à 16 de la série indigène. Quelques-uns sont blancs, par un lavage irrationnel, dont les frais ne sont pas accusés par ceux qui le pratiquent. La cristallisation est peu comprise.

En résumé, si le Brésil ne fait pas pour ses sucres ce qu'il devrait faire, il n'en est pas moins vrai que ma critique ne va pas à considérer l'ensemble de son exposition sucrière comme mauvais. Loin de là ; j'ai vu des sucres plus secs que je ne l'espérais, malgré tous les défauts de la pratique et l'absence de la théorie ; la plupart sont conservables ; le grain, quoique trop petit, est bien détaché : il y a des qualités très-réelles qu'un peu de volonté transformerait aisément et porterait à un point voisin de la perfection.

Les exposants du Brésil sont MM. :

Paschaun (B.-J.), de Sainte-Catherine. Sucre blanc.
Colonie de Blumeneau (le directeur de la), de Sainte-Catherine. Sucre blanc et cassonade.
Porto (Luiz da Gama), de la Parahyba du Nord, sucre blanc.
Pessoa (C.-E.-C), de Rio-Grande du Nord, sucre blanc brut.
Rio-Grande du Nord (la Province de), sucre blanc.
Belfort (J.-J.-F.-V.) du Rozario (Maranhão), sucre commun et raffiné.
Lobão (Francisco-Pinto), de Sergippe, sucre raffiné et purifié.
Cardozo (Feliz-Zefirino), — , sucre raffiné et clarifié par le lait.
Nascimento (Jose Agostinhodo), de Rio do Sal (Sergippe). Sucre commun.
Pernambuco (la Province de), sucres bruts et blanchis.
Silva (Divio da Souza), de Pernambuco. Sucre cristallisé et raffiné.
Barretto (Antonio-Paes-Mello), de Pernambuco. Sucre blanc purifié.
Penna (Luiz-Antonio-Gonzalves) et Cie, de Fernambucq. Sucre blanc raffiné ; sucre brut.
Rabelle et *Irmaõ*, — — —
Azevedo et *Compagnie*, — Sucre cristallisé et en poudre.
Corrêa (Joaquim-Severo), du Parana. Sucre blanc.
Para (la Province du). Sucre sec blanc.
Pinto et frères, du Para. Sucre blanc.
Ribeiro (Jose-Guetano), du Para. Sucre blanc.
Souza (Fortunato-Alves de), de Para. Sucre blanc.
Roque (Luiz de la), — . Sucre brut et purifié.
Silva (Januario-Antonio da), — . Sucres blanc, moscouade et raffiné.
Malcher (Aniceto-Clemente), — . Sucres brut, purifié et raffiné.
Vianna (Coïtinho) et *Bosisio*, de Hicteroy (Rio-Janeiro.) Sucres en pain et en poudre.
Itaguahy (baron d') (Rio-Janeiro). Sucre blanc.
Mansell-Carré et *Compagnie* (Rio-Janeiro). Sucre blanc.
Lindenbery (Louis-Boniface) (Rio-Janeiro). Sucres gros, fin et raffiné.
Leme F.-D.-P., et P.-D.-G.-P d'*Itaguahi* (Rio-Janeiro). Sucres blanc et foncé.
Pereira (conseiller João d'Alméïda) fils, — . Sucre raffiné foncé.
Armando (José-Vieira), — . Sucre blanc et cassonade.
Marinho (J.-M. da Fonseca) et frère, — Sucre blanc, raffiné et en morceaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Silva (Manoel-Carvalho da),	Rio-Janeiro.	Sucre raffiné foncé.
Silva (João-Jose Carneiro da),	—	—
Castro (Julião Ribero de),	—	—
Ribeiro (A.-J. Soares),	—	Sucre blanc et moscouade.
Silva (José-Caetano-Garneiro),	—	Sucre raffiné foncé.

Les produits de ces *trente-six* exposants ont été appréciés de la manière suivante par le jury :

Il n'a été décerné aucune *médaille d'or* ni *d'argent*..., la *médaille de bronze* a été accordée à MM. Januario Antonio da Silva et Peles-Leme, ainsi qu'à la commission provinciale de Pernambuco; il n'a pas été attribué de *mentions honorables*.

Je trouve que le jury a été peut-être un peu trop sévère, car bien des sucres brésiliens auraient mérité d'être distingués pour les qualités de fond très-réelles que l'on y rencontre ; mais cette sévérité même vient à l'appui de ce que j'ai dit précédemment. Il importe au Brésil d'entrer sérieusement dans la voie des améliorations et de se mettre franchement au niveau de la fabrication moderne ; sans des efforts continuels vers le bien, il me paraît certain que la sucrerie brésilienne se verra, tôt ou tard, dans l'impossibilité de soutenir la lutte commerciale qui réagit sur le monde entier, et qu'elle se verra réduite aux ressources du commerce intérieur, si elle ne veut subir des conditions onéreuses.

N. — On aurait pu trouver quelques bons échantillons de sucre brut dans l'exposition de la RÉPUBLIQUE ARGENTINE, notamment ceux de Santiago, del Estero, de Tucuman, etc. Il ne paraît pas qu'ils aient été examinés avec tout le soin nécessaire.

O. — Même observation pour les produits de COSTA-RICA.

P. — Le royaume de HAWAI a été représenté par MM. *Ball* et *Adam* de Wailuku (Maui) et *Green* et Ce de Hawaï. Il a été accordé une *médaille de bronze* à M. Green et une *mention honorable* à MM. Ball et Adam. Les produits sucriers de ces messieurs offrent un bon grain, une nuance très-acceptable et ils sont secs et nerveux.

Q. — L'ANGLETERRE est un pays essentiellement raffineur, et la fabrication du sucre brut ne pouvait être représentée par personne dans le Royaume-Uni, puisqu'elle n'y existe pas. Mais on est en droit, ce me semble, de se demander pourquoi les raffineurs anglais (sauf MM. Burgess et fils de Londres), n'avaient pas mis leurs produits en regard des raffinés français, prussiens, autrichiens, russes ou suédois, et leur abstention laisse le champ libre aux commentaires.

En revanche, les colonies anglaises, qui sont les sources productives du sucre pour la métropole, ont exposé de nombreux échantillons.

Le *Canada* a fait voir de beaux produits en sucre et sirop d'érable (*sucre de maple*), voire même du sirop et du sucre de maïs, celui-ci en beaux cristaux bien détachés. *Natal* a fourni plusieurs spécimens de tout mérite, depuis des sucres *noirs* jusqu'à la plus belle nuance de sucre non claircé. La *Nouvelle-Ecosse* a présenté du sucre d'érable, et les sucres de canne de *Queensland* et de *Victoria* sont loin d'être sans valeur.

Mais le triomphe de l'exposition coloniale revient de droit à l'*Ile Maurice* (Ile de France). Le soin que les fabricants de Maurice ont apporté à leur exhibition demande que l'on fasse de leurs produits sucriers un examen spécial, et que l'on en fasse ressortir les beautés ou les défauts.

La grosseur et la régularité des cristaux, la netteté des formes, la sécheresse et le nerveux d'un sucre, sa blancheur, sont des qualités dont il convient, sans doute, de tenir grand compte, et elles existent à un haut degré dans les sucres de Maurice. Ce sont précisément ces qualités qui ont fait l'admiration du jury

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et de la galerie, — admiration naïve, qui aurait pu se manifester d'une manière plus logique.

Et moi aussi, j'admire les sucres de Maurice ; mais, n'en déplaise à un Mauricien enthousiaste qui me reprochait un jour ma froideur, il faut plus que cela pour me porter au lyrisme. Je dis, comme tout le monde : voilà des sucres remarquables ! Mais j'ajoute qu'un grand nombre de ces produits ne sont pas de fabrication courante, que plusieurs ont été *faits*, *choyés* et *caressés*, en vue de l'Exposition ; que beaucoup de ces produits constituent un non-sens, s'ils sont destinés à la raffinerie ; que, s'ils sont destinés à la consommation directe, il y a une autre faute tout aussi grave dans ces jeux d'enfants, qui jouent au gros cristal comme ils joueraient au soldat. Que messieurs les exposants mauriciens veuillent bien comprendre la pensée toute bienveillante et l'idée de justice qui me dictent cette opinion que j'expliquerai tout à l'heure et qu'ils n'y voient rien autre chose que la volonté bien arrêtée de rester dans le vrai. Je ne veux pas faire d'appréciations déplaisantes ; aussi me bornerai-je à des généralités, que les intéressés comprendront du reste, s'ils sont bien avisés. J'ai passé six heures à l'exposition de Maurice, et mon examen, aussi approfondi que possible, m'a pleinement convaincu.

Les exposants de l'île Maurice sont :

MM.

C. Wiehé et Compagnie, de l'établissement *Labourdonnais*. Huit échantillons de sucre brut. Produits secs. Beaux cristaux. Nuances variées du n° 16 au n° 23 de la série indigène. Emploi du sulfite de soude, cuite dans le vide.

E. Icery, de la *Gaieté*... Trois échantillons, très-beaux ; procédé ordinaire de fabrication, cuite dans le vide.

H. Pitot, de *Saint-Aubin*... Produits parfaits. Quatorze échantillons. Cuite dans le vide, sans emploi de charbon et sans filtration.

D'Arifat frères et *Ray*, de *Constance*... Deux échantillons passables, de premier et de second jet.

J.-D. *Constantin et Compagnie*, de *Bénarès*... Trois échantillons assez beaux. Cuite dans le vide. Purge à la turbine. Sans noir ni autres substances chimiques. Sans filtration.

H. *Poulin*, de *Mont-Choisy*... Trois échantillons...

H. *Portal*, de l'*Anse-Jonchée*... Un bon échantillon. Fabrication à la vapeur. Triple effet. Cuite dans le vide. Purge à la turbine.

C. *Antelme*, de *Stanley*... Trois échantillons de beaux produits. Concentration à la batterie ; cuite dans le vide. Purge à la turbine par l'*eau*.

A. *Barlow*, de la *Lucia*... Six échantillons de très-beaux produits. Cuite dans le vide. Purge à la turbine à l'*eau* et à la vapeur.

Belzim et *Harel*, de *Trianon*.. Six échantillons remarquables. Concentration à la batterie et défécation à la chaux. Cuite dans le vide. Clairce à l'*eau* par le turbinage.

W. *Heweson*... Quatorze échantillons de produits parfait. Cuite dans le vide.

J. *Currie*... Trois échantillons.

Les récompenses accordées par le jury se distribuent ainsi dans les colonies anglaises :

La *médaille d'or* a été décernée à M. *Winchin* (Inde Anglaise). MM. *Saudbacher*, de la plantation *Anna Caterina*, *Kurren* et Ce du Bengale, ont obtenu la *médaille d'argent*. La *médaille de bronze* a été attribuée à M. *Clementon*, de la Guyane et à M. *Narciss* (sucre de maïs). Enfin, la *Compagnie sucrière coloniale*, M. *Daniel* T. (de la Guyane), MM. *Wirsing* et *Reynolds* (de Natal), M. O. *Thibault* (du Canada, sucre d'érable), MM. *Braun* et Ce, M. *Hayres* (Indes Anglaises), la *Société d'agriculture de Beauce* (Canada, sirop d'érable), MM. *Burgen* et fils, de Londres, ont obtenu la *mention honorable*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En ce qui concerne spécialement l'Ile Maurice : MM. Icery, Wiché et H. Pitot ont obtenu la *médaille d'or* ; MM. Antelme, Belzim et Harel, Hewetson, la *médaille d'argent* ; MM. H. Portal, H. Barlow, d'Arifat et Ray la *médaille de bronze*. Il n'y a pas eu de mentions honorables.

MM. Constantin, Poulin et Currie ont été oubliés par le jury. Je le regrette pour MM. Constantin et Ce dont les produits méritaient largement la médaille de bronze.

Je reviens maintenant à ce que j'ai dit en thèse générale sur les sucres de Maurice. Ces produits sont de toute beauté, sauf exceptions sur lesquelles je ne veux pas m'appesantir. J'en conviens avec le jury et les autres observateurs. Mais les gros cristaux ne me portent pas le moins du monde à l'enthousiasme. Tout le monde peut faire du candi et ces cristaux ne sont que du petit candi. Il n'y a pas là de quoi tant admirer ce que tous peuvent faire, ce qui a été fait avec le jus de betterave par la fabrication allemande, ce qui ne demande qu'une précaution de cristallisation. On obtient des cristaux d'autant plus gros et plus réguliers que la cristallisation est plus ralentie dans des solutions saturées. C'est le contraire dans les cristallisations rapides. Il n'y a donc là qu'un fait de cuite plus ou moins *serrée* et de cristallisation plus ou moins ralentie, et ce fait est à la portée de tout le monde. Donc, pas tant de poésie à l'égard des gros cristaux, et l'on arrivera à une moyenne honnête, à un taux d'admiration possible.

D'autre part, la parfaite *similitude* des cristaux exposés dans chaque sorte me fait croire, avec *certitude*, qu'il y a eu triage dans les produits. La cristallisation du sucre ne donne *jamais* une masse aussi complétement homogène, quant à la forme et à la grosseur, sinon en produits fins.

Ces gros cristaux demandent un soin spécial, une cristallisation lente ; ils se dissolvent plus lentement. Donc, s'ils sont très-beaux, la curiosité seule y trouve son compte et ils ne sont pas sans coûter un peu plus cher que le produit fin de cuites serrées, lequel se conduit mieux à la *refonte*, se dissout mieux à la bouche et, par conséquent, vaut mieux pour la raffinerie et la consommation.

A ces observations près, toutes dans l'intérêt même des fabricants de Maurice eux-mêmes, je ne puis que les féliciter sincèrement à tous égards.

IV

Pour compléter autant que possible cette étude de la sucrerie à l'Exposition, il ne me reste plus qu'à examiner les questions relatives au *matériel* et à l'*outillage*, et à rechercher si, dans les engins de chaudronnerie et de mécanique qui ont été présentés, on peut constater des progrès réels et tangibles.

J'ai déjà indiqué les noms des exposants, et je me contenterai de réparer quelques omissions involontaires.

En *France*, MM. Buffaud frères, de Lyon, ont exposé de bonnes turbines et MM. Durieux et Roettger ont présenté des filtres-presses remarquables. M. Pernollet a exposé un coupe-racines et M. Samain une presse à vis, à vapeur. Le nombre des exposants français s'élève à vingt-sept et non pas à vingt-trois, comme je l'avais écrit précédemment.

Le jury a décerné les récompenses suivantes : la *médaille d'or* a été décernée à MM. Cail et Ce. La *médaille d'argent* a été attribuée à MM. Samain, Zambaux et Nilus, Brissonneau, Blaise (Mlle), Buffaud frères et Pernollet. La *médaille de bronze* est échue à MM. du Rieux et Roettger, Bour et Chenaillier, P. Chenaillier Meyer et Ce, Dufournet et Ce, Joly et Camus, Farinaux, Baudet et Boire, Legal, Scalabre-Delcour, Hérouard et Lefebvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il n'a pas été accordé de *mentions honorables*.

Il est convenable d'ajouter à la liste des exposants belges M. E. de Bruyne, pour ses étreindelles, et M. Hanrez pour un appareil destiné, paraît-il, à laver le noir d'une manière continue.

MM. Cail, Halot et Ce ont obtenu la *médaille d'argent*; MM. Dorzée et Andry, E. de Bruyne, ont reçu la *médaille de bronze*.

Les *deux* exposants prussiens ont été récompensés : M. J. Aders a été jugé digne de la *médaille d'argent* et une *mention honorable* a été accordée à M. Dinglinger pour ses turbines.

En Autriche, sur dix exposants, la *médaille d'argent* a été décernée à M. Ch. Kronig ; celle de *bronze* a été accordée à la filature de Bruim ; MM. Brand et Lhuiller, M. Zuzmayer ont obtenu une *mention honorable*.

Comme il n'entre pas dans mon intention d'aborder les impossibilités, je ne chercherai pas à trouver des raisons, bonnes ou mauvaises, qui justifient les jugements et les appréciations du jury, car ici, comme dans les produits mêmes de la fabrication, il ne semble pas que les juges aient eu une notion, même élémentaire de l'industrie sucrière. Dans tous les cas, le même esprit a présidé à leurs actes. De même que les produits de la grosse usine, les produits lavés, ceux des *personnages*, ont été distingués en sucrerie, les engins de la *grosse affaire*, la masse, le kilogramme, le poli ont excité au plus haut degré les sympathies des jurés. Je ne leur en fais pas un crime, mais je dis qu'ils ont pris le contre-pied de ce que la raison et le bon sens leur indiquaient comme marche à suivre.

Pourquoi une médaille d'or à MM. Cail et Ce et seulement une de bronze à MM. Farinaux et Ce? Pourquoi avoir passé sous silence l'osmogène de M. Dubrunfaut? Pourquoi le triple effet triomphe-t-il sur toute la ligne, pendant que les choses simples sont dédaignées? C'est parce que, — le mot est dur, mais il est vrai, — nous discourons sur le sucre, mais nous ne savons pas le faire. Tout ce qui semble devoir *marcher tout seul* nous attire fatalement, et si l'on joint à cela les influences, la trompette de la réclame, l'engouement, on aura la juste mesure de ce qui arrive.

Si l'on cherche à réduire le travail de la sucrerie à sa plus simple expression, on arrive à se convaincre de l'inutilité de bien des machines indispensables.

Il faut *diviser* la matière première, en *extraire* le jus, le *purifier*, le *concentrer* et le *cuire*, *purger* les cristaux obtenus... Voilà tout.

Pour la *division* de la substance saccharifère, il faut la *râpe*, ou le *coupe-racines*, ou encore le *hache-cannes*, selon le mode d'extraction à suivre. Où est la bonne râpe, le bon coupe-racines, le bon hache-cannes?

Pour l'*extraction* du jus, il faut la *presse*, aussi puissante que possible, ou un *appareil macérateur*. Ajoutons le *moulin à cannes* pour sacrifier à la routine des pays canniers, puisque cet appareil divise la canne et en extrait le jus à la fois, dit-on... Où sont les presses, les macérateurs, les moulins à cannes ?

La *purification* du jus est plus complexe dans la fabrication actuelle. Elle comprend la *défécation*, la *saturation* par l'acide carbonique, la *neutralisation*, si on la fait, la *décoloration*...

La *chaudière à défequer*, la *chaudière à saturer*, le *four à acide carbonique* avec ses accessoires, *pompe* ou *soufflerie*, la *chaudière à neutraliser*, les *filtres à noir*, le *four à revivification* constituent la machinerie nécessaire à cette phase de la fabrication, à laquelle s'annexent les *presses à dépôts*, pour l'épuisement des écumes et des précipités... Où est tout cela?

La *concentration* et la *cuite* se font à l'*air libre* ou dans le *vide*, à la *vapeur* ou à *feu nu*. C'est ici que se placent les *évaporateurs*, les *doubles* ou *triples effets*, les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coupes-vacuum, les appareils à *feu nu*... Il faut les chercher et voir ce qu'ils valent.

La *purge des cristaux* ne requiert guère que la *turbine* en fabrication, les *cristallisoirs* usités sont d'une forme très-simple, qui ne comporte guère de modification; mais, en raffinerie, il faut des *formes*, une *pompe aspirante* agissant comme *sucette*...

Je vais reprendre ces questions en détail, et je profiterai de cette étude sommaire du matériel pour donner mon opinion personnelle sur les objets présentés par les exposants, au moins sur ceux qui offrent une certaine importance.

La *râpe* est connue de tout le monde. Elle exige cependant, pour être bien faite, l'accomplissement de certaines conditions indispensables. Elle doit être solide, résistante, peu volumineuse, facile à monter et à réparer, et elle doit faire un travail rapide. Je ne serai pas suspect de partialité en disant que la râpe centrifuge de M. H. Champonnois m'a paru un bon instrument, bien compris et bien exécuté. Cette râpe diffère de l'instrument ordinaire en ce que les dents, au lieu d'être placées sur la périphérie du plan extérieur, sont en dedans et que les betteraves pénètrent dans l'intérieur, où la force centrifuge les applique contre les dents, ce qui supprime les rabots. On dit que cet instrument fait beaucoup de besogne, et je le crois sans peine.

La râpe de MM. Joly et Camus est aussi un bon engin; mais cela ne m'explique pas comment l'appareil de M. Champonnois n'a pas frappé le jury, à moins qu'il ne soit récompensé avec le groupe de ses appareils de distillerie, qui n'ont pourtant rien de merveilleux.

Le coupe-racines centrifuge, du même inventeur, est construit sur les mêmes principes et doit être d'un bon usage.

On n'a pas encore adopté la macération en France, en sorte que le coupe-racines, employé à la division de la matière saccharifère, est encore borné à la distillerie; mais le temps n'est pas loin où nos fabricants comprendront peut-être la nécessité de supprimer la râpe et les presses; alors seulement le coupe-racines sera l'instrument diviseur par excellence, et l'on s'attachera à celui qui débitera mieux et plus rapidement.

Pas un seul *hache-cannes* n'est usité dans la pratique sucrière, et le moulin domine encore la situation. Pour que cet engin, qui est un hache-paille ordinaire, fût appliqué fructueusement à la division de la canne, il conviendrait de modifier la direction du plan, qui amènerait les cannes aux couteaux, en lui donnant une obliquité de 45 degrés. La raison en est que les tronçons coupés obliquement présentent moins de résistance au couteau et que, d'ailleurs, ils se laissent pénétrer plus facilement par les liquides. J'en ai fait l'expérience sur le sorgho, et elle m'a paru indiscutable.

En somme, la division de la matière est représentée par la râpe et le coupe-racines de M. Champonnois, par la râpe de M. Mariolle, le coupe-racines de M. Semollet et la râpe de MM. Joly et Camus. La râpe ordinaire de MM. Cail et Cie mérite à peine d'être mentionnée. Dans la série des appareils d'*extraction*, nous sommes plus heureux. Une presse préparatoire et une presse hydraulique de la maison Cail, avec réédition en Belgique, une presse à pulpe de MM. Molinos, Pronnier et Dion, une presse de M. Robert (de Massy), une presse à vis, à vapeur, de M. Samain, sont présentées pour la fabrication européenne (France) comme accessoires de la division par la râpe. J'ai vu trois moulins à cannes à trois rolls ou cylindres, et j'ai cherché à me rendre compte de l'appareil de M. Hanrez, destiné au traitement du noir, mais que l'auteur voudrait appliquer à l'extraction du jus...

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Je ne dirai rien sur les presses ordinaires, ni sur les presses hydrauliques, bien connues, pour lesquelles les constructeurs n'ont à revendiquer autre chose qu'une exécution plus ou moins satisfaisante; je ne rappellerai pas non plus les échecs de M. Robert, dans les essais tentés avec sa presse, et je me contenterai de quelques observations générales sur la pression, bien que l'instrument de M. Samain mérite des éloges pour l'intelligence qui a présidé à sa construction,

La pression ne peut conduire au progrès en sucrerie, par la très-bonne raison qu'elle ne peut jamais extraire, seule, la totalité du jus sucré contenu dans la plante. Elle enlève à peu près celui des cellules déchirées, surtout si elle est accompagnée d'un lavage auxiliaire, mais elle ne peut rien sur le sucre des cellules entières, non divisées par l'instrument... Voici des chiffres.

La betterave tient 10.5 de sucre et 83.5 d'eau p. 100 (selon M. Payen). En prenant cette analyse pour base et en faisant abstraction des matières solubles différentes du sucre, on devrait obtenir 10.5 + 83.5 = 94 de jus pour 100 kil. de racines. Or, dans ces conditions, la moyenne des fabricants n'obtient que 75 de jus avec 25 de pulpe résidu. Ceux qui atteignent 80 p. 100 ne doivent ce résultat qu'à des lavages. De 94 à 75 il y a une différence, *en moins*, de 19 de jus resté dans la pulpe, et ces 19 kil. *perdus* équivalent à 2k.015 de sucre, soit au *cinquième* de la quantité renfermée dans la racine. Et cependant la presse hydraulique a passé par là! Cette démonstration donne la mesure de la confiance à accorder à la pression, puisque de son fait, et malgré le haut prix des presses, il reste dans la pulpe 20.16 p. 100 du sucre. Une fabrique qui traite 10 millions de kil. de racines ne fait que 526.000 kil., ou 5.260 sacs, lorsqu'elle devrait faire 6.592 sacs, avec cette fabrication impossible, qui donne aujourd'hui un rendement moyen de 5.26 p. 100.

M. Hanrez pense que son appareil pourrait être appliqué à l'extraction du jus de la pulpe; je ne crois pas qu'il puisse être supérieur à la presse, et voici mes raisons :

Cet instrument n'est, au fond, qu'une essoreuse. Or, dans le passage de la pulpe à travers un appareil de ce genre, on peut, à la vérité, extraire le jus libre des cellules ouvertes et même laver la pulpe, mais il me paraît impossible d'extraire le sucre des cellules closes et non déchirées, autrement que par voie de macération, pour prendre le mot technique. Or, la macération demande beaucoup plus de temps que n'en comporte le trajet de la pulpe dans une machine de ce genre. Il serait vivement à désirer que le problème poursuivi par M. Hanrez pût obtenir une solution satisfaisante; mais il importe de ne pas confondre le lavage avec la macération, si l'on veut atteindre un épuisement suffisant.

Le moulin à cannes vient ensuite compléter la série des appareils d'extraction. Ici, le jury me permettra de le féliciter de la bienveillance qu'il a montrée pour cet engin, quoique cette bienveillance m'ait paru fort gratuite. Le moulin est aujourd'hui une monstruosité industrielle et un spécimen arriéré des temps primitifs de la sucrerie; il ne méritait certainement pas d'encouragements, à moins que les juges n'aient eu l'intention de lui donner une médaille de persévérance. Rien de neuf d'ailleurs dans la construction et les dispositions; c'est bien là le moulin de tout le monde, et rien n'a été fait pour en perfectionner le travail.

Or le moulin, agissant par écrasement et pression, divise la matière et extrait le jus tout à la fois; cela est vrai, mais quel est le résultat final? Il est assez triste de constater que les planteurs ne retirent que 5 de sucre d'une plante qui en renferme quelquefois 18 pour 100, et ce rendement ne peut être attribué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'à l'emploi du moulin. Ainsi, dans les pays canniers de l'Amérique du Nord, des cannes à 14-15 pour 100 de sucre rendent en tout 3 de sucre et 3 de mélasse pour la masse du jus extrait par le moulin, en sorte que, si l'on compte ce rendement tout entier pour sucre, on trouve qu'il reste dans la bagasse 8 à 9 de sucre pour 100 kil. de cannes écrasées.

Comment donc peut-on s'obstiner à conserver un engin qui ne rend pas la moitié de ce que contient la matière, qui coûte fort cher et exige beaucoup de force dépensée en pure perte? Cette anomalie étrange a jeté les planteurs dans les bras des usines centrales et ils sont tombés de Charybde en Scylla au lieu de profiter des expériences faites et de se mettre résolûment à pratiquer la macération.

Je ne veux pas médire des usines centrales. On m'a assez reproché, à droite et à gauche, de ne pas les aimer, comme si j'étais le maître d'aimer ou de ne pas aimer ce qui me cause une répulsion profonde, avant et après examen. Il eût mieux valu pour les colonies tout ce qu'il peut y avoir de pire que cette abdication industrielle. Que les colonies sachent seulement qu'une grosse maison s'est vantée, par ses agents, d'un fait inouï dans les annales du travail humain : elle ne se proposerait rien moins que d'accaparer la sucrerie coloniale tout entière!

J'ai lu la phrase textuellement dans une lettre d'un des hommes les plus honorables de nos colonies françaises...

Il n'a pas été question de *macération* à l'Exposition, sinon par quelques données sur ce que M. Robert (Jules), de Seelowitz, appelle son procédé d'extraction *par diffusion*. Selon M. Walkhoff, la fabrique de Seelowitz est la seule en Allemagne qui pratique encore aujourd'hui, sur une grande échelle, la macération des tranches de betterave fraîche à l'aide de l'eau chaude[1]; et cet auteur considère la pratique de M. Robert comme un spécimen d'une élégante organisation.

En somme, les betteraves, découpées par un appareil spécial, sont introduites dans des cylindres macérateurs qui peuvent se fermer hermétiquement et communiquent à volonté. Le nombre de ces appareils varie de six à vingt. La matière y est soumise à l'eau qu'un serpentin porte à la température de 80 degrés, et l'équilibre endosmotique s'établit... Ce mode n'offre absolument rien de particulier quant aux principes, qui sont tous connus, et l'invention de M. Robert ne porte que sur la forme et la construction de ses cylindres, qui seraient, à mon avis, d'un prix assez élevé. Quoi qu'il en soit, la macération se pratique en Allemagne, à l'aide de différents procédés, soit sur les betteraves fraîches, soit sur les cossettes desséchées, et, sous ce rapport, le progrès est plus lent à s'accomplir en France, malgré nos prétentions.

La macération repose sur ce principe que les cellules végétales abandonnent leurs principes solubles à un liquide de densité moindre, dans lequel elles sont plongées, jusqu'à ce que l'équilibre se soit établi entre le liquide extérieur et celui de l'intérieur des cellules. La règle théorique, justifiée par l'expérience, apprend que le volume du liquide macérateur (eau) étant égal à celui du liquide de la matière, il faudra que ce liquide passe dix fois sur la matière neuve, *pendant un temps suffisant*, pour avoir atteint la même densité que le jus même de la plante. De même, il faudra dix traitements à l'eau pour que la richesse de la matière soit ramenée à 0°. C'est ainsi que cent parties de pulpe de betterave sont épuisées de toutes leurs substances solubles par dix macérations succes-

1. Die Fabrik des Herrn Robert zu Seelowitz in Mähren ist die einzige Fabrik in Deutschland, welche die Maceration frischer Rübenschnite mit warmen Wasser *noch heute* in einem grösseren Maassstabe betreibt. (Walkhoff. 1866. page 295.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sives avec 83.5 parties d'eau, et que ces 83.5 d'eau passant dix fois sur de la pulpe neuve, ont acquis la densité du jus naturel.

En pratique, six opérations suffisent pour donner un résultat convenable, tel qu'il ne reste dans la pulpe que 1.5672 pour 100 du sucre, soit 164 grammes pour 100 kilogr. de pulpe; ce qui est bien loin des 2 kil. 015 perdus par le procédé des presses.

Quoi qu'il en soit, la macération, qui remonte à Mathieu de Dombasle, n'a pas encore de représentant sérieux dans notre industrie, bien qu'il ne faille pour l'accomplir exactement que des cuves, un coupe racines et un ou deux monte-jus. Qu'y a-t-il d'étonnant à constater les faibles rendements que nous obtenons, lorsque déjà nous laissons dans le résidu un cinquième du produit, et que, sur les quatre cinquièmes restant nous en transformons en mélasse, volontairement ou non, au moins un autre cinquième?

Tout le temps que l'on fera usage des presses comme moyen d'extraction, tout le temps que l'on se servira du moulin, nous perdrons forcément un cinquième de notre production sucrière...

La *purification* du jus obtenu n'a été représentée à l'Exposition, au point de vue de la machinerie bien entendu, que par les filtres-presses, les soufflerie à acide carbonique et les engins à noir...

Pour que la défécation soit bonne, il faut bien des conditions : 1° il faut *coaguler* par la chaleur et *éliminer* ensuite toutes les matières albumineuses coagulables; 2° il faut employer assez de chaux pour *précipiter* toutes les substances qui peuvent devenir insolubles à l'aide de cet agent, et *éliminer* le précipité formé; 3° il faut faire disparaître toute la chaux du sucrate formé; 4° il faut neutraliser les *sels alcalins* qui peuvent se trouver dans le jus, sous peine de les voir se décomposer, les carbonates surtout, pendant la concentration, se transformer de nouveau en sucrates, colorer le glucose et détruire du sucre. C'est là surtout ce que j'appelle *neutraliser;* 5° il faut filtrer le jus ou le sirop, pour le débarrasser des matières en suspension...

L'outillage nécessaire pour tout cela mérite quelques observations. Lorsque la défécation est bien faite, que les jus sont neutres, on n'a plus un besoin absolu des grandes machines spéciales destinées à la concentration, car le jus cuit à l'air libre, ne se colore plus dans ces conditions; on n'a plus besoin de noir... Si la défécation est mal faite, il faut le vide, le noir et toute la série des palliatifs de chaudronnerie, qui ne remédient qu'en partie au mal. Cela suffit à faire saisir que certains constructeurs ont *besoin* d'une mauvaise défécation, qui rend indispensables leurs engins de grand prix.

Je ne donnerai qu'une seule preuve, pour démontrer combien l'on soigne peu la défécation. Dans le système de la double carbonatation trouble, *forcément* accompagnée du triple effet de M. Cail, du vide et autres belles choses, coûtant fort cher, beaucoup trop cher, je défie qu'on trouve un sucre ne précipitant pas *abondamment* par l'oxalate d'ammoniaque.

Il n'y a pas encore huit jours que, chez moi, 60, rue des Dames, j'en ai fait la démonstration sur un *sucre lavé*, décoré d'une médaille d'argent et fait par cette méthode. Le précipité des sucres non lavés est une véritable boule d'oxalate de chaux... Dira-t-on que ces sucres ont été bien faits, qu'ils ont été bien déféqués, que la chaux a été éliminée, en présence d'un fait tangible, dont tout le monde peut vérifier l'exactitude?

Donc, il faut bien déféquer, déféquer *à chaud*, dans une chaudière spéciale, éliminer toute la chaux, neutraliser les alcalis et filtrer pour purifier convenablement un jus.

Les chaudières à serpentin ou à double fond sont connues, les systèmes de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soufflerie pour l'introduction de l'acide carbonique sont également vulgaires ; tout le monde sait à quoi entraîne le noir et sa revivification. Rien n'a été fait dans tout cela de meilleur ou de plus économique. Il ne se rattache à cette période qu'un instrument avantageux, le filtre-presse, destiné à extraire le jus des dépôts et des écumes. La soufflerie de la maison Cail n'a rien de plus que celle de M. Farinaux ; le four à noir de Mlle Blaise est un four à noir, dont les dispositions particulières ont été décrites dans mon ouvrage sur les sucres et ailleurs, et qui est apprécié diversement par la fabrication. Il n'y a pas eu de chaudières ni de filtres exposés, et l'on sait pourtant combien nos filtres à noir laissent à désirer.

Quant au filtre-presse, c'est une autre affaire. MM. Cail et Cie, Farinaux et Cie, Durieux et Roëttger ont exposé chacun le leur.

Notons, en passant, que le principe est le même et que les différences ne gisent que dans la forme et les détails. Cet appareil est bon et fait un bon service. Il supprime dans les fabriques l'ennui attaché à l'épuisement des écumes et des dépôts, et ce travail devenu facile, était un des plus pénibles de toute la fabrication.

Il consiste essentiellement en une série de cadres revêtus de toile métallique, qui se pressent les uns contre les autres par leurs bords et laissent entre eux un espace dans lequel la matière semi-fluide est injectée par un monte-jus, sous la pression du générateur. Le fluide passe à travers la surface filtrante qui garnit la toile métallique des cadres et s'écoule par un conduit inférieur. Le résidu solide est extrait sous forme d'un gâteau aplati, très-sec et parfaitement épuisé.

Cet instrument devrait être dans toutes les usines. Mais son prix fait reculer beaucoup de fabricants, surtout depuis que de 2000 francs il a été porté à 3000.

Parmi les filtres-presses exposés, celui de MM. Du Rieux et Roettger était de beaucoup le plus élégant et le mieux fait, et les autres étaient loin de lui être comparables.

Lorsque le jus est défégué, il faut l'amener à l'état de sirop par la *concentration*, qui se partage en deux parties habituellement, l'*évaporation* et la *cuite*.

On distingue la concentration à l'*air libre* et la concentration dans le *vide;* le chauffage est à *feu nu* ou à la *vapeur;* celle-ci agit dans des chaudières à double fond, ou par des serpentins, ou enfin par une distribution tubulaire, verticale ou horizontale.

Dans la concentration à l'air libre et à feu nu, l'outillage actuel est borné à l'*équipage* des colonies que le *Concretor-Fryer*[1] est destiné à remplacer tôt ou tard.

La concentration à l'air libre et à la vapeur se fait par les chaudières ordinaires, plates ou hémisphériques avec serpentins ; aucun spécimen n'en a été exposé. Tous ces appareils peuvent conduire à la cuite.

La concentration dans le vide se fait par le *triple effet* de M. Cail, de M. Farinaux, ou de tout autre, par le double effet de M. J. Aders, etc. Ce système est encore représenté par la chaudière tubulaire à triple effet de MM. Zambaux et Nilus...

La cuite à la vapeur, à l'air libre, peut se faire, comme je l'ai dit, par les chaudières ordinaires à évaporer ; mais la *chaudière de Wettzell* est plus spéciale dans ce but. M. Cail et M. Chenailler en ont exposé chacun un modèle.

1. Voir, *Annales du Génie civil*, 6e année, page 626, un article très-développé de M. le comte d'Adhemar, sur le concretor Fryer. Nous donnons plus loin l'analyse de cet article. E. L.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les chaudières à cuire dans le vide ne manquent pas. M. Cail a exposé la sienne ; M. Farinaux avait son engin à côté ; M. Chenaillier, M. Legal, M. Zugmayer et d'autres avaient les leurs. Le principe est identique, et les seules différences appréciables sont encore basées sur des questions de forme et de détail, auxquelles je ne m'arrêterai pas.

L'équipage colonial est jugé aujourd'hui, et avec raison, selon moi, comme le plus mauvais appareil d'évaporation que l'on puisse employer. Je ne m'y arrêterai donc pas, et je vais chercher à faire comprendre la valeur du *concretor*, en tant qu'appareil à concentrer.

Quoique l'on ait cherché, dans ces derniers temps, à faire prendre le change au public, je n'ai jamais accordé au *sucre concret* l'importance qu'on a bien voulu y attacher. Je ne crois à l'avenir de ce sucre que très-relativement ; mais j'ai affirmé et j'affirme encore que ce sucre a été mal jugé par M. Dubrunfant, voilà tout. En ce qui touche l'appareil de M. Fryer, je ne le regarde pas comme le sauveur de la sucrerie exotique, et je ne vais pas si loin que son inventeur. Je le considère seulement comme un *excellent appareil d'évaporation et de cuite à feu nu*, permettant la suppression de l'équipage d'une part, et, de l'autre, donnant aux planteurs le moyen de se soustraire à l'usine centrale.

Qu'on me permette ici un mot encore. J'aurais parfaitement tort de critiquer l'usine centrale, si elle était établie par association, entre les planteurs, pour traiter leurs propres cannes et partager les bénéfices proportionnellement à leurs apports. Il y aurait là une grande idée, généreuse et régénératrice, et je serais un des premiers à y applaudir. Ce qui est ne ressemble en rien à cela. C'est une société d'industriels, de constructeurs, de capitalistes, réunis dans le but avéré de soutirer de la canne tout ce qu'elle peut donner, en ne faisant participer les planteurs que le moins possible aux produits. Le propriétaire du sol, cultivateur, fournit la matière première, moyennant une redevance ridicule ; les usiniers ne cultivent rien, ne risquent rien, et ils recueillent plus de bénéfices que celui qui a travaillé et qui risque tout. Bénéfices sur la construction et les appareils, — il y a des constructeurs dans l'affaire, — bénéfices sur la fabrication, bénéfices par la participation aux générosités nationales, les usiniers encaissent de toutes mains... Pendant ce temps, nos colons achèvent de se ruiner pour enrichir ces philanthropes d'un nouveau genre.

Comme je ne trouve cette opération ni juste, ni équitable, je me permets de la blâmer. Si c'est un tort, j'aurai tort longtemps.

J'en reviens au concretor, et je dis que c'est un moyen de faire *seul* pour le planteur qui ne peut pas ou ne veut pas s'associer avec ses voisins, et qui désire échapper à l'usine et à l'équipage. Le concretor fournit le moyen d'arriver à ces résultats, parce qu'il peut donner d'excellents produits à feu nu, et qu'il est un bon appareil de concentration. Il ne faut pas le juger autrement, si l'on ne veut être ni détracteur, ni enthousiaste.

J'ai regretté vivement son absence à l'Exposition, où il aurait frappé les moins clairvoyants.

Si toute bonne évaporation exige la multiplication des surfaces de chauffe et la plus petite épaisseur des couches à échauffer, ce qui est exact en théorie et en pratique, le concretor justifie ces principes. Il consiste essentiellement en un plan métallique incliné reposant sur le carneau conducteur des gaz du foyer. Ce plan est coupé par des arêtes plus ou moins élevées, perpendiculaires aux bords du plan et au plan lui-même, mais interrompues alternativement à l'une des extrémités, en sorte que le liquide serpente sur le plan dans un très-long trajet et sur une épaisseur très-faible. Le liquide arrive sur le plan au point où la température est plus élevée, ce qui est conforme aux véritables principes, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il parvient à l'extrémité dans un état de concentration tel, qu'il peut immédiatement subir la cuite, s'il n'a pas besoin d'être filtré. La cuite s'effectue dans un cylindre terminal au contact de l'air chaud.

Personnellement, je répète que je ne crois pas à l'avenir des sucres concrets; mais, en considérant le concretor comme appareil d'évaporation de cuite, je pense qu'il peut rendre les plus utiles services pour les jus de la canne et même de la betterave, en permettant d'appliquer le feu nu à la concentration, pourvu que ces jus soient bien purifiés et parfaitement neutres.

L'économie de son emploi est sensible; son prix est peu élevé relativement, et je suis convaincu de la possibilité de le faire fonctionner à l'aide seulement des chaleurs perdues.

Sirops pour sirops, cet instrument les fera plus économiquement et aussi bons que tous les triples effets du monde, si les jus sont convenablement purifiés.

Pour la concentration à l'*air libre* et à la *vapeur*, les chaudières ordinaires à serpentins sont bien connues, employées presque partout pour la reprise des produits secondaires et des bons produits, aussi bien que pour l'évaporation proprement dite, et l'on ne s'en trouve pas plus mal que d'autre chose. Mais l'engin à la mode est le *triple effet*. C'est à cette machine que M. Say, dans un accès de lyrisme, attribue les progrès de la sucrerie. Pour moi, qui ai moins de poésie, je vois que le triple effet remplit la caisse des constructeurs, et c'est tout; car il m'est impossible de trouver, même au microscope, les progrès si vantés par le raffineur parisien.

Ou le triple effet est *nécessaire* à la fabrication, ou il est simplement *utile*, ou l'on peut s'en passer entièrement. En raisonnant sur ces bases, on peut arriver à trouver le véritable point de la question, et c'est ce que je vais chercher à faire.

Mais d'abord, je m'empresse de déclarer que j'admire beaucoup le triple effet comme appareil de chaudronnerie; je lui porte presque la même considération qu'au *vide*, dont il n'est cependant qu'une extension, et je le regarde comme un engin des plus ingénieux. Maintenant que ma profession de foi est faite, je serai plus à mon aise pour dire ce que j'en pense, dans les circonstances où l'on peut avoir à l'employer.

Il me semble que si mes jus se concentrent bien, s'ils *cuisent à sec*, sans formation de matière colorante nouvelle, si je ne transforme pas de sucre en glucose, si mes sucres ont une teneur saccharimétrique plus élevée que la moyenne, si tout cela se fait à l'air libre, à la vapeur, ou même à feu nu, avec les précautions d'usage, je n'ai nul besoin de dépenser beaucoup d'argent pour commander un triple effet à un fabricant quelconque. Personne ne peut sans déraison se soustraire à cette conséquence. Or c'est justement ce qui arrive avec les défécations bien faites et parfaitement neutres. J'en tiens une preuve dans un échantillon de sucre *non lavé*, nuance n° 15 à 16, tenant 98 p. 100 de pur, 0,40 de sels, qui a été concentré et cuit à *feu nu*, par un fabricant de sucre français, n'en déplaise à quelques amateurs.

Voilà donc un cas où le triple effet est *inutile à la rigueur*, et où l'on peut s'en passer entièrement, et ma dernière proposition est prouvée. Je sais très-bien que l'on peut me dire : « Vous feriez plus beau à l'aide du triple effet et du vide! » Sans doute; mais ce que mon contradicteur saurait aussi bien que moi, c'est que la raffinerie aime beaucoup mieux des sucres payant moins et plus riches, que des sucres moins bons et plus blancs, supportant un impôt plus considérable, puisque la loi française impose naïvement la nuance.

Si, au contraire, j'ai fait du système Possoz, Périer et Cail, de la double carbonatation trouble, si j'ai suivi la méthode ordinaire, si j'ai filtré sur noir, si je n'ai pas éliminé toute ma chaux, si je n'ai pas neutralisé les alcalis, je dois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

redouter toute température excessive qui dépasserait 80° à 85° centigrades, parce que, dans ces conditions, mon sucre s'altérerait, mon sirop se colorerait par l'action spéciale exercée sur la glucose, et j'ai *besoin* du vide, j'ai besoin d'une basse température; le double effet, le triple ou le quadruple effet m'est *nécessaire*, presque indispensable, sous peine de diminuer mes rendements et d'abaisser la qualité de mes produits.

J'espère que cela doit satisfaire les architectes de ces bâtisses en cuivre, et qu'ils ne verront plus en moi un ennemi aveugle et passionné, puisque je reconnais la nécessité de leurs constructions. J'ajoute cependant que cette nécessité est subordonnée à cette condition que le fabricant de sucre ne sache pas son métier et qu'il défèque mal ses jus...

Hors de là, le triple effet n'est jamais *nécessaire*.

Il peut être *utile*, presque toujours, même avec une purification bien faite, parce que l'on a un grand intérêt à ne soumettre le sucre qu'à une faible température. Il reste à savoir si la faible utilité qu'on en retire est en rapport avec la somme qu'il coûte, les dérangements qu'il subit et les ennuis qu'il cause. C'est au fabricant seul qu'il appartient d'apprécier.

Pourquoi le jury n'a-t-il pas vu une égalité entre le triple effet de M. Cail, celui de M. Farinaux et celui de MM. Zambaux et Nilus?

Viennent les *appareils à cuire*. On peut cuire certainement un jus bien préparé à l'air libre, avec les chaudières ordinaires, mais la cuite comportant une température qui varie de 107° à 110°, il y a *toujours un certain avantage* à ne soumettre le sucre qu'à une *température plus faible*, puisqu'il s'hydrate et se colore sous l'influence de la chaleur. C'est dire que le *vacuum-apparate* des Allemands, le *vacuum-pan* des Anglais et des Américains, notre chaudière à cuire dans le vide, me paraissent des appareils excellents sous tous les rapports [1]. Je ne suis pas un profane à ce point, que je ne puisse applaudir à une construction ingénieuse, et les applications du vide m'ont toujours semblé dignes de la plus grande attention...

Mais si l'application d'une faible chaleur, si la *cuisson à basse température* est *utile* au sucre, ce que je ne conteste pas, je dis que l'utilité n'est pas tellement grande, qu'on ne puisse cuire à l'air libre sans un inconvénient notable.

La vraie faute de la sucrerie consiste dans l'absence de défécation ou dans une mauvaise défécation, incomplète et illusoire; ce vice a conduit forcément à rechercher les moyens de soustraire le sucre mal purifié aux influences pernicieuses de l'air et de la chaleur. De là le vide, les chaudières à triple effet et le reste; mais ces influences n'ont qu'une faible importance sur le sucre que l'on a débarrassé des agents nuisibles, et, dans ce cas, je dis que c'est une faute pour le fabricant de jeter son argent à la tête des constructeurs, lorsqu'il peut faire très-bien avec des appareils plus simples et moins coûteux.

Or, la chaudière de Wettzell, ou une disposition analogue, permet la cuite à une température assez basse pour que l'on n'ait pas grand'chose à redouter de la chaleur; on peut même faire, dans cette chaudière, la cuite en grains, et si le vide peut être d'un bon emploi en raffinerie et dans quelques circonstances de la fabrication, je pense que la Wettzell est surtout l'instrument de la sucrerie.

Cette chaudière se compose d'un demi-cylindre dans lequel on fait arriver le sirop à 26°-28° Beaumé. Un système de tubes obliques reliés à des lentilles formant chambres de vapeur tourne dans le sirop, et la vapeur qui pénètre dans les tubes cuit le sucre qui est emporté à leur surface à chaque évolution.

1. Voir plus loin une notice sur les appareils à cuire dans le vide. E. L.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Cail et M. Chenaillier ont exposé chacun une chaudière de ce genre, mais ces messieurs n'ont pas su éviter le véritable défaut de cet appareil. Ce défaut, constaté à Maurice, où l'on s'en sert beaucoup, consiste précisément dans les lentilles et la disposition des tubes, dans lesquels il se fait beaucoup de condensation, et dont la purge, difficile, ne se fait pas sans une pression énergique. Il en résulte des fuites et des dérangements fréquents, qui sont d'un inconvénient grave. J'ai modifié cette disposition de manière à obtenir tous les avantages de la Wettzell sans en avoir les désagréments. Pour cela, j'ai substitué un simple tube en hélice, à spires nombreuses et assez rapprochées du système complexe de la machine primitive.

En résumé, la cuite d'un jus bien fait et purifié ne manque pas de bons instruments, puisque les chaudières ordinaires, le vide et la Wettzell peuvent fournir de bons résultats. Je mets cependant le vide en première ligne, lorsque l'on ne doit pas regarder à la dépense. Si l'économie préside à l'opération, la préférence doit être accordée à la Wettzell.

Tout le monde connaît la turbine ou essoreuse destinée à opérer la purge rapide et forcée des sucres, et le dernier blanchisseur apprécie parfaitement l'application de la force centrifuge à son industrie. Je ne perdrai donc pas le temps du lecteur à la décrire ; mais je ferai observer que, pour cet objet comme pour les autres, il y a des différences de prix et de valeur qu'il est bon de constater. Ainsi, les turbines de MM. Buffaud frères, parfaitement faites et bien construites, pourvues d'un petit cheval-vapeur, se vendent au public à raison de 2000 francs, tandis que la même grandeur est vendue 3000 francs par d'autres constructeurs, sans que rien puisse justifier cette différence.

J'ai vu des formes de bien des espèces ; celles en *carton*, de MM. Dufournet et Cie ; celles en *acier*, de M. Legal ; celles en *tôle vernie*, de madame Goulancourt-Filler ; celles en *papier mâché*, de M. Kronig ; celles de M. Resnicek. Ces instruments ne sont bien appréciés qu'à l'usage, et le *desideratum* du groupe consiste dans un beau vernis ou un bon émail. Il ne semble pas, en effet, que l'on soit encore parvenu à satisfaire la raffinerie sous ce rapport.

Il ne me reste plus, pour prendre congé du lecteur, après ces longues causeries sur l'industrie sucrière, qu'à dire ma pensée sur le *noir d'os*.

Je ne veux pas rappeler l'origine de ce bizarre accouplement du noir d'os avec la fabrication sucrière, ni même me reporter au contrat qui organisa la fabrication du noir, à Grenelle, par les soins d'un chimiste connu. Je sais que le noir décolore et absorbe une certaine quantité de chaux. Je sais encore que la sucrerie ne marche guère sans noir, et que, en Allemagne, on regarde cette matière comme la sauvegarde du fabricant ; aussi ne chercherai-je pas à lutter contre un préjugé ancré dans les esprits depuis une période aussi longue. Je n'ai à faire qu'une observation. Si le noir décolore, ce qui est vrai, comment se fait-il qu'après la décoloration à 5° Beaumé, il soit nécessaire de filtrer encore sur noir à 15°, puis à 26°-28°, ce qui n'empêche pas les sirops d'être aussi colorés que lorsqu'on a supprimé le noir en faisant une défécation complète et neutre ? Ne sent-on pas que, pour profiter sérieusement de l'action décolorante du noir, il faut avoir éliminé des jus toute cause de coloration ultérieure et avoir neutralisé l'alcalinité du noir lui-même ? Tant que l'on n'aura pas ces principes présents à l'esprit, qu'on ne les mettra pas en pratique, l'action du noir sera inutile en fabrication, car elle ne protégera en rien le résultat final. On peut donc affirmer en toute vérité que le noir et sa revivification sont une véritable superfétation en sucrerie, et que tout le secret d'un bon travail se trouve dans la neutralité de la défécation.

N. Basset, chimiste.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPENDICE.

L'auteur de l'article qui précède a été fort sobre de détails sur la construction des nouveaux appareils usités par l'industrie sucrière. Nous allons essayer de combler cette lacune.

Voici d'abord sur le concretor quelques renseignements, dont nous empruntons les éléments au travail de M. le comte d'Adhémar.

L'évaporation a lieu sur une grande surface comme dans les salines. On a donné à cette surface le nom de *trait* (en anglais *tray*, récipient plat). Ce trait est une chaudière plate de 1m.80 de large, et dont la longueur varie d'après le nombre de *stations* dont elle se compose : sept, dix, quinze stations formées de plaques en fonte, dont une des dimensions est de 1m.35, l'autre dimension étant égale à la largeur même de la chaudière. Chaque plaque forme séparément une station ou un bassin rectangulaire avec ses quatre rebords. Chaque bassin est encore subdivisé en canaux parallèles à la largeur du trait, par des diaphragmes ou traverses en tôle (*i i* fig. 1) ayant également, comme l'enceinte de la

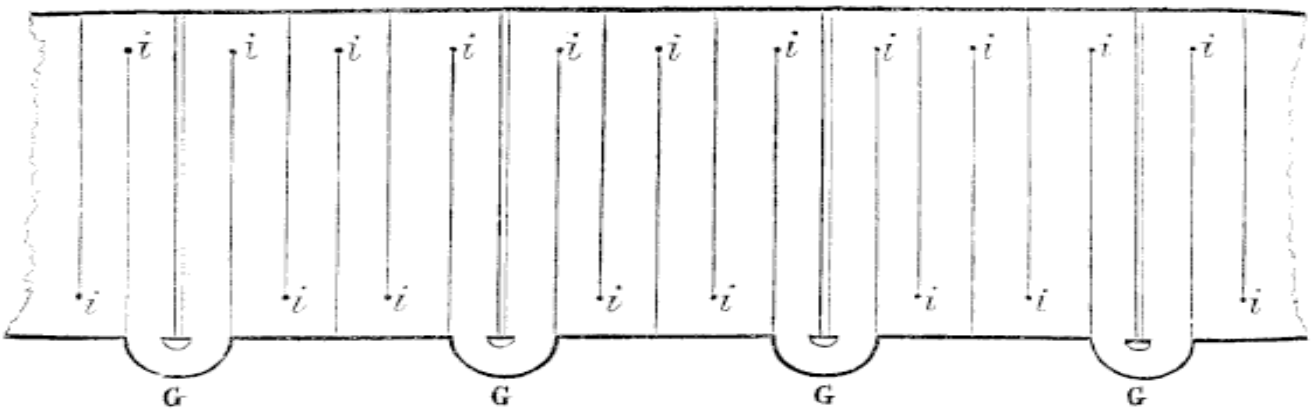


Fig. 1.

chaudière, 0m.06 de relief. Ces diaphragmes laissent cependant le passage libre d'un canal à l'autre, par une de leurs extrémités, mais de manière que la communication ait lieu tantôt à gauche et tantôt à droite comme l'indique la figure. Le vesou amené dans la station ou bassin de tête, est obligé d'effectuer une marche en lacet pour arriver à la station extrême ; mais d'un bassin à l'autre les rebords de jointure feraient obstacle à sa course, si l'on n'avait pas pratiqué dans un des longs côtés du trait des ouvertures garnies de gouttières demi-circulaires en cuivre qui établissent extérieurement à l'appareil, la communication d'une station à l'autre.

Le vesou descend donc de bassin en bassin ; parvenu à la dernière station, il doit titrer de 28 à 30° de concentration à l'aréomètre de Beaumé. Il est dès lors propre à la concrétion et on le transvase dans l'appareil où cette évaporation doit avoir lieu.

La cheminée d'où l'on tire la chaleur nécessaire à la concrétion est en tôle, et elle est située en aval des surfaces d'évaporation. Sa base sert d'appui à une chambre cylindrique en tôle aussi, et dont la disposition intérieure est toute spéciale. La plaque qui forme le sol de la chambre est percée de trous circulaires ; elle repose immédiatement sur le conduit horizontal, qui constitue le prolongement du fourneau au delà du trait d'évaporation et donne passage à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fumée. Une autre plaque, percée de trous correspondant à la première, est placée en étagère à 0m.50 ou 0m.60 environ au-dessous du dôme de la chambre. Des tubes ouverts à leurs extrémités sont engagés verticalement dans les trous correspondants des deux plaques, de manière que l'enceinte où ils sont logés représente assez bien une chaudière tubulaire à vapeur, qui serait placée debout.

Ces tubes mettent en communication le canal horizontal de la fumée au sortir du fourneau avec le dôme de la chambre, et, par le dôme, avec la cheminée de dégagement. Ils représentent les seuls conduits par lesquels le courant superflu de fumée et d'air chaud du foyer d'évaporation puisse trouver une issue, comme la flamme et les produits de la combustion dans la chaudière tubulaire.

Seulement les espaces de la chambre compris entre les tubes, au lieu d'être remplis d'eau comme dans la chaudière à vapeur, renferment l'air à calorifier. Ils forment dans leur ensemble une véritable étuve, et constituent la source de la chaleur où l'on puise l'air chaud nécessaire à la concrétion.

Pour effectuer ce soutirage, il suffit de déterminer un courant à travers le faisceau tubulaire de l'étuve. Une ouverture est ménagée à cet effet dans les parois verticales de la chambre pour y laisser pénétrer l'air extérieur, et une autre en sens opposé pour laisser sortir ce même air, après qu'il s'est échauffé au contact des tubes verticaux. C'est au moyen d'un ventilateur aspirant que l'appel de l'air chaud a lieu par cette dernière ouverture, comme on va le voir dans la description de l'appareil de concrétion, à laquelle nous nous sommes arrêté.

L'appareil de concrétion se compose d'abord d'un récipient cylindrique en métal, cuivre hier, fonte aujourd'hui. C'est ce que les inventeurs appellent le cylindre. Il est couché comme une chaudière à vapeur, mais légèrement incliné de l'avant à l'arrière, afin que le vesou concentré qu'il doit recevoir, tente à descendre lentement d'une extrémité à l'autre.

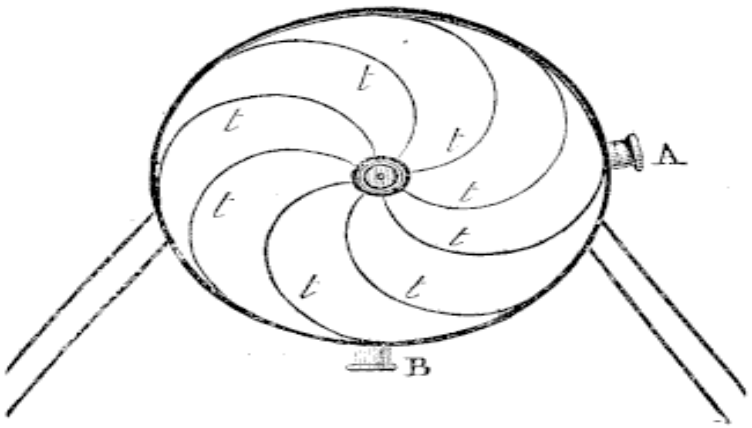


Fig. 2.

Un axe mobile, passant au centre des deux cercles extrêmes qui limitent le cylindre, est muni de palettes en forme de tympans à cuillère *t t* (fig. 2).

Le cylindre est fixe, c'est l'axe qui tourne, imprimant aux tympans, dont il est rayonné, son mouvement de rotation. Les tympans arrivent par une de leurs extrémités jusqu'à la tangence de la paroi cylindrique de l'appareil. Ils ramassent dans leur marche dirigée convenablement, le sirop qui occupe le fond du cylindre; ils l'exhaussent en l'étalant peu à peu sur toute l'étendue de leur surface et le rejettent au centre de rotation, du côté où penche l'appareil.

Une machine à vapeur spéciale, de la force de quatre chevaux, fait mouvoir l'axe du cylindre d'un mouvement lent, qui ne dépasse pas quatre tours à la minute.

La même machine à vapeur qui imprime le mouvement à l'axe du cylindre, fait mouvoir également le ventilateur à palettes qui est chargé d'appeler l'air chaud de l'étuve tubulaire. Ce ventilateur est situé en tête du cylindre. Pour établir la communication entre le ventilateur et l'étuve, le cylindre, au travers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

duquel elle a lieu, est percé sur les deux cercles de limite, et en lieu convenable, de deux soupiraux, dont l'un, celui qui est à l'extrémité de sortie du sirop, s'ouvre sur le canal d'émission de l'air chaud de l'étuve tubulaire, et l'autre débouche dans un tambour qui précède le cylindre. Ce tambour sert à couvrir l'engrenage de l'axe, mais s'abouche en même temps avec les lèvres de la gueule aspirante du ventilateur.

Celui-ci, en tournant, soutire naturellement l'air du tambour et du cylindre et par conséquent l'air chaud de l'étuve. L'air chaud, sollicité par cet appel forcé, remonte, en sens contraire de la lave descendante du sirop, les surfaces mobiles des tympans. Il achève l'évaporation du jus étalé à mince couche sur ces surfaces et le concrète rapidement.

Le ventilateur rejette ensuite l'air qu'il a aspiré, dans un conduit aboutissant à la cheminée. Le tirage de la cheminée est ainsi assuré par le courant même qui lui arrive de ce côté.

Quand on juge que l'opération de la concrétion est achevée, on ouvre un déversoir B (fig. 2) pratiqué au bas du cylindre, vers l'extrémité déclive de l'appareil; le jus concrété s'écoule doucement par cette ouverture. Il est reçu dans un bac à bascule, au moyen duquel on le distribue à des wagons, qui, à leur tour, servent à le mener vers les boucauts d'expédition, où on le verse à mince couche.

Le jus concrété durcit promptement. Il ne laisse suinter aucune trace de sirop...

Abordons maintenant les appareils à cuire dans le vide, le *vacuum-pan* des Anglais. L'on sait que l'idée en est due à Howard, qui a construit les premiers de ces appareils à l'usage des raffineries. Ces appareils se composaient d'une chaudière sphérique formée de deux coupoles dont l'une, inférieure, portait un double fond dans lequel arrivait de la vapeur. Le vide était fait et maintenu au moyen d'une pompe à air, extrayant en même temps l'eau provenant de la vapeur condensée dans un réfrigérant intermédiaire.

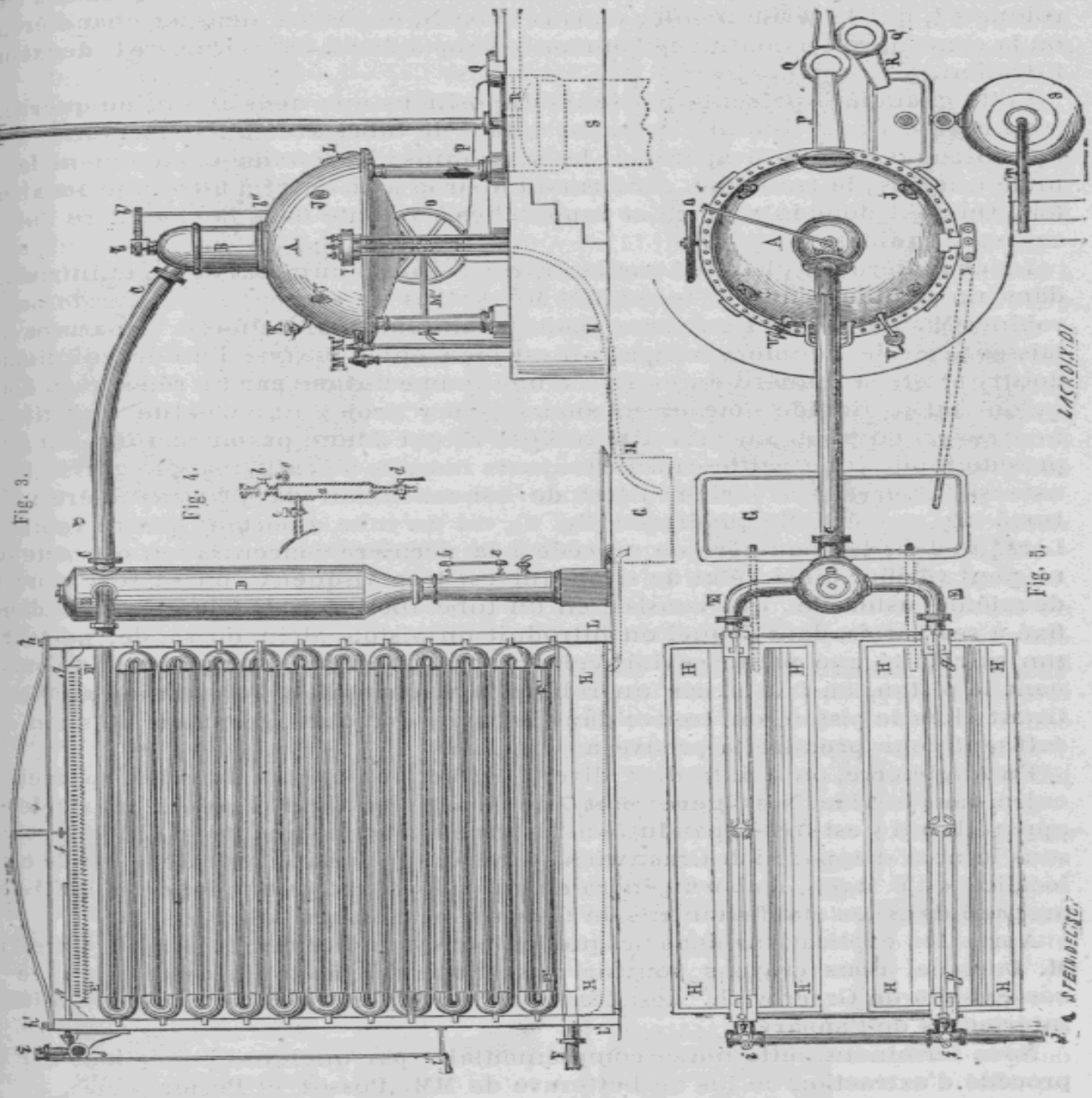
Voici, d'après M. Payen, la description d'un appareil perfectionné, construit par MM. Derosne et Cail.

La vapeur est en partie condensée par deux serpentins à tubes horizontaux, sur lesquels on fait couler le jus déféqué et filtré, qui se concentre en utilisant ainsi la chaleur de la vapeur provenant du sirop soumis à la concentration. Ce moyen évaporatoire convient dans les habitations coloniales où le combustible manque. Pour les fabriques de sucre de betterave, les mêmes constructeurs ont disposé un condensateur à colonne et à injection centrale, dans lequel les sirops peuvent s'entreposer sans se mêler à l'eau de condensation s'ils viennent à déborder accidentellement. Ces chaudières sont munies de lunettes qui permettent de voir la marche de l'opération d'un petit appareil à extraire le premier sirop dans une éprouvette, d'une sonde qui sert à prendre une très-petite quantité de liquide pour s'assurer de son degré de concentration; enfin, elles portent encore un robinet de vidange, un robinet à injecter le beurre et un manomètre.

Voilà les principales dispositions du premier de ces appareils, dits à serpentins ou à double effet évaporatoire. Les figures 3 et 4 (page suivante) le représentent en élévation et en plan : A, chaudière à double coupole et à double fond, réunis par une même bride; B, tête cylindrique dans laquelle une large soupape, mue par le levier $b\ b'$ et la tige $b'\ b''$, intercepte et ouvre à volonté la communication entre l'intérieur de la chaudière A et toutes les autres parties de l'appareil (tubes, colonne, serpentins, pompes); C C, tube dirigeant les vapeurs vers les serpentins; une colonne creuse D est interposée pour recevoir le jus ou sirop qu'une ébullition mousseuse peut accidentellement faire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

monter dans le tube C C. Les deux tubes latéraux E E conduisent la vapeur dans les deux serpentins E' E', disposés parallèlement à un plan vertical, et maintenus par les saillies de chacun des coudes en bronze entre les montants *h* L,



h' L' d'un bâti solide en bois. Au dernier tube inférieur de chaque serpentin est adapté un tube F qui communique avec une pompe à faire le vide : celle-ci épuise à la fois l'eau condensée, l'excès de vapeur et l'air contenu dans l'appareil ou introduit par quelques fissures. Pour utiliser la chaleur que cède au serpentin la condensation de la vapeur, on fait couler sur toute la surface du jus défécué et filtré. Celui-ci se distribue à l'aide des robinets *i' i'* qu'on ouvre à volonté en faisant tourner les tiges *i' i'*; le jus, arrivant d'un réservoir supérieur par le tube *j*, coule dans les caniveaux *g g*, percés de traits de scie dans toute leur longueur. Ces ouvertures sont maintenues de niveau au moyen d'une vis *f*, qui presse ou soulève le milieu du caniveau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le jus rapproché à moitié environ de son volume pendant ses chutes successives, sur tous les tubes de chaque serpentin, s'écoule dans des caniveaux H H, qui le dirigent dans le réservoir G, d'où on le puise à volonté par un des trois robinets I, qui le laisse monter dans le tube N, et jusque dans la chaudière A, où la concentration continue et amène le sirop à 26 ou 28°, terme de la deuxième filtration.

Cette chaudière présente plusieurs dispositions que nous allons indiquer. Les trois robinets font communiquer par autant de tubes avec trois réservoirs : l'un, G, contenant le sirop évaporé sur les serpentins ; le deuxième, contenant le jus filtré une fois ; le troisième, renfermant le sirop à 26 ou 28°, filtré une deuxième fois. On peut donc introduire et rapprocher à volonté dans la chaudière l'un de ces trois liquides.

La chaudière est chauffée par la vapeur venant d'un générateur, et introduite dans un double fond par le robinet M, et dans un serpentin en spirale par le robinet M'. Des disques en verre épais, maintenus par de fortes armatures J, J' laissent voir le liquide bouillant : il est bien entendu que l'un de ces disques doit recevoir la lumière du jour ou d'une lampe dirigée par un réflecteur. Lorsqu'on voit le liquide s'élever en mousse, on y projette une petite quantité de beurre, en ouvrant un instant le robinet K, qui donne passage au liquide gras, près du fond d'une petite capsule toujours remplie de cette matière grasse. Deux ustensiles servent à vérifier l'état de concentration dans la chaudière : l'un tracé sur une échelle quadruple (fig. 5), est un tube *a* portant quatre robinets. Lorsque dans la chaudière on procède à la dernière concentration ou cuite, on ne peut vérifier ainsi l'état de sirop qui est trop visqueux ; on se sert alors du deuxième ustensile, qui consiste en un tube incliné à 45° dans la chaudière, fixé à ses parois, dans lequel on introduit un piston plein ou sonde, portant à son extrémité une petite cavité ; celle-ci s'emplit de sirop au moment où, tournant le piston, on fait ouvrir un robinet à virole qui se referme aussitôt ; retirant alors le piston, on trouve dans la cavité quelques grammes de sirop qui suffisent pour prendre la preuve au crochet.

En Angleterre, on a introduit divers perfectionnements dans les appareils à cuire dans le vide. Nos figures 6 et 7 de la page suivante représentent un de ces appareils qui y est très-répandu dans les grands établissements, et qui y est connu sous le nom d'appareil de Greenwich, parce que c'est dans les raffineries de cette localité qu'il a été d'abord généralement adopté, et que c'est de là qu'il s'est propagé dans les établissements de Glasgow et d'autres villes.

Après les explications dans lesquelles nous sommes entrés sur l'appareil de M. Derosne, nous croyons pouvoir nous dispenser de toute description de la *vacuum-pan* de Greenwich. Les dessins montrent suffisamment les dispositions intérieures de l'appareil.

Nous terminons cette notice complémentaire par quelques indications sur un procédé d'extraction de jus de betterave de MM. Possoz et Perier.

Après que les betteraves ont été réduites en pulpe, on procède à la défécation en ajoutant dans le jus (chauffé entre 50 et 60° par la vapeur mise en contact avec le fond de la chaudière au moyen d'un double fond) 0,005 de chaux hydratée.

On laisse ensuite la température du mélange s'élever jusqu'à l'ébullition, puis, comme dans l'ancien système de défécation, on soutire au clair le liquide interposé entre l'écume surnageante et le dépôt au fond du vase.

Les écumes et le dépôt soutirés ensuite sont réunis dans des sacs en toile pelucheuse de coton, puis graduellement pressés, afin d'en extraire le plus possible du jus liquide et de réserver pour l'engrais des terres le marc calcaire pressé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le jus limpide obtenu s'écoule directement dans les chaudières dites de *carbonatation*, où il arrive très-chaud, et peut d'ailleurs être réchauffé (sans porter

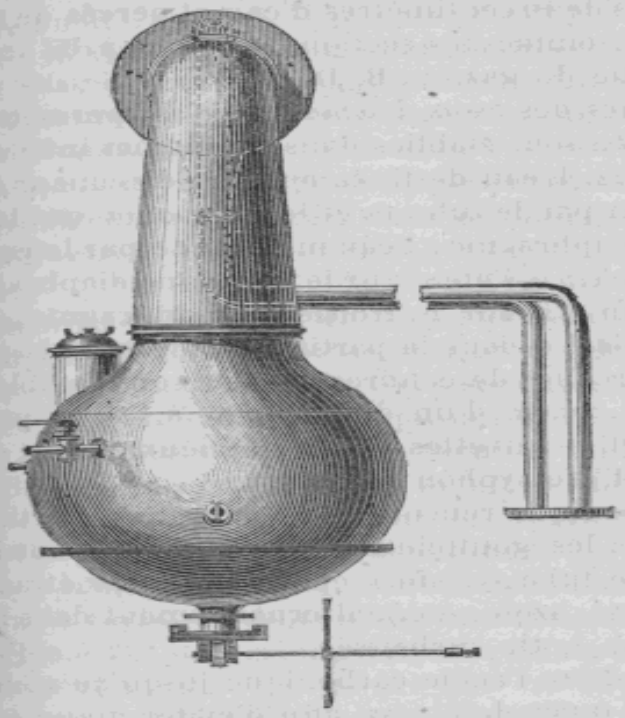


Fig. 6.

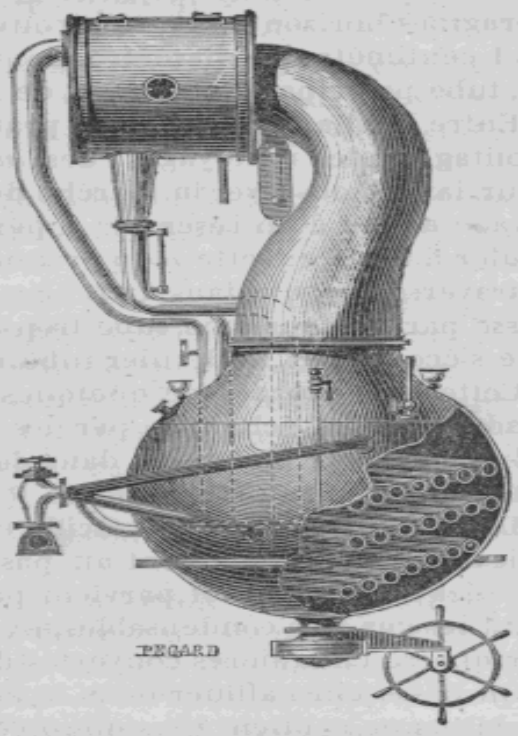


Fig. 7.

sa température jusqu'à 100°) à l'aide du double fond à circulation de vapeur dont ces dernières sont munies.

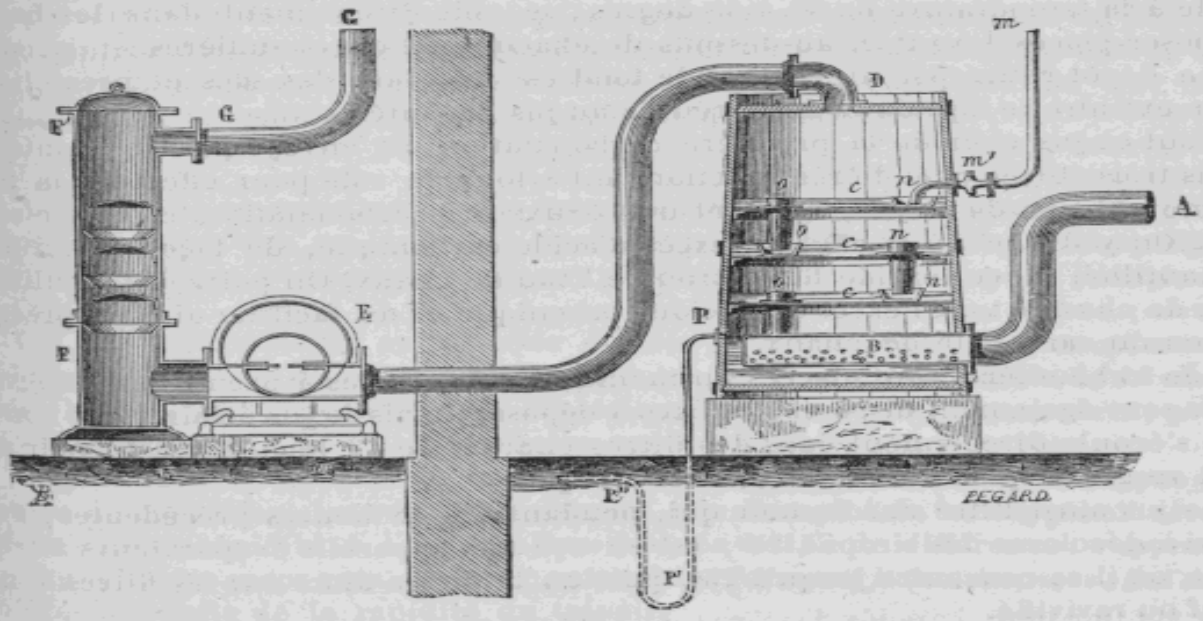


Fig. 8.

On ajoute dans ce liquide clair 0,01 de chaux, et dès que le mélange est opéré, on commence la saturation, en faisant affluer dans le liquide un courant d'acide carbonique gazeux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le gaz, aspiré et refoulé par une pompe rotative analogue à la pompe américaine ou de Beels E, fig. 8, doit être refroidi, puis épuré à l'aide des lavages, en passant d'abord dans une colonne ou cuve laveuse B c D au travers de 3, 4 ou 5 diaphragmes horizontaux *c*, *c*, *c*, couverts de 10 centimètres d'eau et percés de trous de 1 centimètre de diamètre, dont la somme des sections est égale à la section du tube principal d'arrivée et de sortie du gaz, A, B, D.

Entre les diaphragmes sont pratiqués des *trous d'homme*, afin de permettre le montage et les nettoyages; des *lunettes* sont établies dans les mêmes intervalles pour laisser observer la marche du gaz. L'eau destinée au refroidissement et au lavage arrive d'un réservoir supérieur par le tube *m* et le robinet *m'* qui la fait couler dans la cuvette *n* du premier diaphragme; l'eau maintenue par le gaz qui la traverse s'écoule dans un tube *trop-plein o*, s'étend sur le deuxième diaphragme, passe par le deuxième tube trop-plein *n n* sur le troisième diaphragme, d'où elle s'écoule par le dernier tube vertical *o* dans la partie inférieure de la cuve.

Cette eau, chargée de quelques parcelles de cendres, de gaz condensables, et graduellement échauffée par les gaz, passe d'un diaphragme à l'autre par les tubes verticaux plongeant dans de petites cuvettes à la Déparcieux, et sort de la colonne par un tube trop-plein P P' P'' en syphon renversé.

Dans son trajet, le gaz acide carbonique rencontre un gros tube vertical à chicanes F F qui arrêtent au passage les gouttelettes d'eau et les poussières qu'elles entraînent. Il parvient par le tube G, ainsi épuré des corps étrangers (sauf les gaz non condensables, oxygène, azote, etc.), alternativement dans l'une des quatre chaudières couvertes d'une hotte surbaissée.

On laisse ainsi affluer dans la chaudière l'acide carbonique jusqu'au moment où le jus ne contient plus que 0,001 à 0,002 de chaux, afin d'éviter qu'un excès, même minime, d'acide carbonique ne dissolve simultanément une partie du carbonate de chaux et des matières colorantes ou colorables entraînées avec le précipité calcaire.

Celle des quatre chaudières dans laquelle la première carbonatation est ainsi faite à la température de 60 à 65 degrés, se vide directement dans les bacs à déposer placés devant et au-dessous de chacune de ces chaudières.

Le dépôt retiré par un robinet de fond est mis dans des sacs et pressé, afin d'en extraire le liquide et de le réunir au jus décanté.

Tout ce jus clair de la première carbonatation est envoyé par un monte-jus dans trois autres chaudières fonctionnant à tour de rôle pour effectuer la troisième addition de chaux, 0,005, et une deuxième carbonatation, complète cette fois. On y dirige à cet effet un excès d'acide carbonique, de façon qu'un petit échantillon de ce liquide filtré trouble l'eau de chaux. On porte à l'ébullition, afin de chasser tout l'excès de l'acide carbonique et de faciliter ainsi la précipitation du carbonate de chaux.

Les 3 chaudières sont placées au même niveau que les 4 premières, et devant elles sont également disposés des bacs à déposer; mais le jus éclairci que l'on en tire s'écoule directement dans des filtres chargés de 15 hectolitres de noir animal en grains placés devant ces bacs à dépôt.

Le jus ainsi filtré sur le noir qui, pendant les 18 heures précédentes, avait servi à décolorer des sirops à 25°, est envoyé aux appareils évaporateurs à triple effet, où il se concentre jusqu'à 25°, puis on le dirige alors sur les filtres à noir neuf ou revivifié.

Un même filtre chargé de noir neuf ou revivifié sert pendant 18 heures pour les sirops à 25°, et ensuite pour les jus qui déplacent le sirop, se décolorent et s'épurent à leur tour.

Le noir est renouvelé après ces 36 heures. 6 filtres semblables suffisent pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une fabrication correspondant à 1,000 hectolitres par jour. On a constaté que les jus ainsi carbonatés sont beaucoup plus faciles à évaporer et à concentrer que ceux du procédé ordinaire, où l'on n'employait qu'une seule carbonatation.

Les sirops cuits, *grainés* dans le récipient réchauffoir, sont mis ensuite dans des cristallisoirs contenant 40 litres sur 0m.10 à 0m.12 d'épaisseur, et y restent 9 à 10 heures pour fournir les sucres de premier jet, que l'on passe ensuite aux centrifuges.

Les sirops extraits par ce premier passage aux appareils à force centrifuge sont cuits directement et mis dans des cristallisoirs de 25 hectolitres, où ils restent huit jours.

Les sucres de deuxième jet qui en proviennent sont soumis à l'égouttage forcé dans les turbines, et les sirops que fournit cette seconde opération sont recuits sans être clarifiés ni filtrés. On en obtient des troisièmes sirops, qui sont versés dans des cristallisoirs de 100 hectolitres de capacité, où ils restent 40 jours.

On reprend enfin les sirops, qui proviennent de l'égouttage forcé des sucres de ces troisièmes sirops, on les recuit et on les verse dans des citernes de 1,000 hectolitres, où ils restent 4 à 5 mois à cristalliser.

Les étuves des cristallisoirs de premier et de second jet sont maintenues à 35° ou 36° centésimaux de température.

Les sucres de deuxième et de troisième jet, après avoir subi l'égouttage forcé dans la turbine, sont refondus de manière à donner un sirop à 25° recuit avec les jus à 25° du premier jet, afin de ne tirer de tous ces sirops que des sucres de premier jet.

Quant aux sirops des quatrièmes jets, ils donnent des sucres bruns qui sont vendus pour l'exportation en Angleterre, où ils sont employés à la fabrication des alcools.

Ces détails sont l'analyse d'un rapport fait par MM. Morin et Payen, sur l'appareil de MM. Possoz et Périer. D'après ce rapport, les sucres obtenus sont blancs et pulvérulents, et ils ont été acceptés par un assez grand nombre de personnes pour entrer dans la consommation directe, et en résumé l'emploi de cet appareil, présenterait une économie notable. C'est cette considération qui nous a déterminé à reproduire les renseignements qui précèdent.

Au moment où nous terminons cet appendice, on nous communique quelques renseignements sur un appareil imaginé par M. Doupé à Ham, et qui par sa simplicité et son bon fonctionnement paraît recommandable pour l'évaporation à l'air libre.

Cet appareil consiste en un cône en tôle logé sur les serpentins et montant à la hauteur de la rehausse ; au sommet est un trou du diamètre de la cheminée ; le jus étant concentré dans l'intérieur est, par le bouillonnement, projeté violemment par le trou et retombe en cascades tout autour du cône.

D'après les renseignements qu'on nous donne et que nous n'avons pas eu le temps de contrôler, les résultats obtenus par l'emploi de cet appareil seraient les suivants : rapidité à l'évaporation évaluée à 1/4 de différence ; suppression de l'emploi des corps gras, le jus en retombant formant brise-mousses ; jus moins colorés par suite de la rapidité du travail.

Le fabricant qui donne ces détails ajoute que, depuis le montage de cet appareil, il économise un bassin sur quatre. Un pareil résultat méritait d'être signalé.

Ecc. LACROIX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'IMPRIMERIE ET LES LIVRES

PAR M. **AUGUSTE JEUNESSE**,
Secrétaire de la rédaction des *Annales du Génie civil* [1].

II

LES LIVRES.

Si nous consultons la statistique officielle, nous verrons que, depuis quelques années, il se publie en moyenne en France environ 15,000 ouvrages, soit nouveaux, soit reproductions d'éditions anciennes.

Ce sont les belles-lettres, la poésie et les romans qui entrent pour la plus grande partie dans ce nombre; viennent ensuite les écrits politiques et religieux pour à peu près 2,000, l'histoire et la géographie, les voyages pour 1,500, les sciences, le commerce, l'agriculture pour 1,000 ouvrages.

La production des gravures, lithographies, photographies, etc., s'élève à environ 30,000, plus 9,000 morceaux de musique vocale, instrumentale ou pour piano.

L'exportation représente environ 20 millions par an, représentant un poids de deux millions et demi de kilogrammes de papier.

Il s'imprime en outre en France environ 1,850 publications périodiques, dont à peu près 360 sont des journaux politiques.

Une industrie qui entre pour une vingtaine de millions de francs dans l'exportation annuelle peut être classée, abstraction même faite de toute considération sur l'influence que les livres français exercent à l'extérieur, parmi les grandes industries du pays; mais il convient, en outre, d'observer que l'imprimerie, par les droits qu'elle paye sous forme de timbres pour les journaux traitant de politique et d'économie sociale, verse annuellement une somme très-considérable dans le trésor public, puisque après le sel, le condiment indispensable de la nourriture du corps, ce sont les journaux, le condiment de la nourriture de l'esprit, qui constituent l'industrie le plus fortement imposée. Nous n'avons pas à nous appesantir ici sur les conséquences de cet impôt. La commission anglaise, dont nous reproduirons plus loin les remarques, nous dispense de ce soin. Ajoutons cependant une observation qui se rapporte à un autre ordre d'idées. « Le développement que prend à l'intérieur le commerce « de la librairie s'accroîtrait en *proportion considérable*, si la loi sur le *colportage* « et les *brevets ne limitaient ses moyens d'action*. » Ce n'est pas nous qui faisons cette critique de la législation qui régit l'imprimerie : c'est dans le catalogue officiel que nous la rencontrons, et c'est du membre du comité d'admission de la classe 6 qu'elle émane.

Revenons maintenant à l'Exposition.

En terminant notre premier article (tome II, page 343), nous exprimions le

1. Voir t. II, p. 326.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

regret que certains éditeurs eussent été seuls récompensés, alors que les imprimeurs des livres qui leur avaient valu cette distinction ne figuraient même pas au nombre des exposants. Nous devons expliquer notre pensée.

Citons d'abord ce que dit sur cette question controversée le membre du comité d'admission de la classe 6, M. Dentu :

« Le libraire-éditeur est aujourd'hui un véritable *producteur*, *dirigeant* non-seulement une maison de commerce, mais encore *une sorte d'atelier collectif*, dans lequel le dessinateur, le graveur, l'imprimeur, le fabricant de papier, le relieur, le brocheur, etc., concourent sous sa direction à un but déterminé. Il a encore un autre titre comme producteur : il n'édite pas seulement l'œuvre nouvelle ou l'œuvre ancienne, en faisant un livre de luxe ou un livre populaire, *il crée des collections d'ouvrages ayant un but spécial, des publications périodiques ou encyclopédiques, et donne des sujets à traiter*. C'est *par ses combinaisons* que se créent et se réalisent *la plupart des œuvres monumentales* que produit la librairie. »

Ce n'est pas un collaborateur des *Études sur l'Exposition*, ayant tous les jours sous les yeux le directeur infatigable de cette publication et des *Annales du Génie civil*, qui contestera l'exactitude rigoureuse de ce portrait d'un véritable libraire-éditeur ; mais ce que nous aurions demandé, c'est que l'imprimeur ne fût pas complétement effacé par l'éditeur, et que par exemple si MM. Hachette étaient jugés dignes d'une médaille d'or, pour les livres imprimés pour leur compte et sous leur direction, par MM. Lahure, Bourdier et Raçon, les noms de ces imprimeurs figurassent au moins comme coopérateurs dans l'exécution des œuvres couronnées. Des médailles d'argent ont été décernées au chef d'atelier de l'Imprimerie impériale, à un contre-maître, à un compositeur, à un graveur de cette même imprimerie, au sous-directeur, au chef de l'atelier de gravure et au conducteur des machines typographiques de la maison Mame ; ces distinctions ont sans doute eu pour but de récompenser une participation réelle aux œuvres exposées : alors, nous le demandons, pourquoi le jury a-t-il omis de citer les noms des coopérateurs les plus importants de MM. Hachette, de ceux qui leur ont permis d'exposer des chefs-d'œuvre comme *Atala*, *Don Quichotte* le *Dante*, comme le *Tour du monde*, comme le *Trésor littéraire*, etc.

Nous ne citons pas les *Saints Évangiles* et l'*Oiseau*, de Michelet, qui occupaient une si belle place dans l'exposition de MM. Hachette. M. Claye, l'imprimeur de ces chefs-d'œuvre, n'avait pas, lui, cru devoir s'effacer, et il avait exposé dans sa propre vitrine les *Saints Evangiles* et l'*Oiseau*, de Michelet, à côté des *Œuvres de Musset*, de l'*Art pour tous*, etc. Cette exposition personnelle, qui nous a rappelé les *Galeries de l'Europe*, le *Paroissien Engelmann*, les *Principes d'agriculture*, les *Contes de Perrault*, que nous avions admirés en 1862, à Londres, a valu à M. Claye une médaille d'or. Cette distinction est tellement légitimée par l'ensemble des productions de cet élégant typographe, que ses concurrents les plus directs, ou pour mieux dire ses émules, ont spontanément et hautement ratifié le jugement du jury.

L'exemple de M. Claye indique la voie à suivre dans les futures expositions : l'éditeur exposant son œuvre, ses collections, l'ensemble de ses publications, l'imprimeur montrant avec un orgueil légitime ce que peuvent produire le choix éclairé des caractères, les soins donnés à la typographie, la surveillance artistique exercée sur le tirage, en un mot, les résultats d'une direction soigneuse de l'ensemble et des détails. Dans cette organisation, le même livre serait soumis à deux jurys différents : celui des éditeurs, celui des imprimeurs. Serions-nous trop exigeant en demandant qu'un troisième jury, celui des auteurs, fût appelé à juger l'œuvre même ?

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le grand prix, — l'unique grand prix du deuxième groupe, — a été décerné à MM. Mame et fils, de Tours. Jamais distinction ne fut mieux méritée. Dans la maison Mame, l'éditeur et l'imprimeur se confondent : l'exécution répond à la pensée, et de cette union sortent des chefs-d'œuvre, comme la *Touraine*, la *Bible*, les *Jardins*, le *Déluge*, l'*Imitation de Jésus-Christ*, le *Missale romanum*. Arrêtons-nous, car il faudrait faire une trop longue nomenclature. Ajoutons seulement que M. Mame a aussi obtenu l'un des prix fondés en faveur des établissement, qui contribuent à un degré éminent à l'harmonie sociale et au bien-être des populations. M. Mame, qui a fondé en faveur de son personnel une caisse d'épargne, s'est empressé de verser les 10,000 fr., montant du prix du nouvel ordre de récompense, dans cette caisse qui fonctionne depuis plusieurs années.

Nous n'avons pas encore parlé de l'Imprimerie impériale, qui naturellement avait été placée hors de concours. Cet établissement soutient son ancienne réputation. Nous avions vu à Londres l'*Imitation de Jésus-Christ*, œuvre splendide, mais que nous avions déjà vue à Paris, en 1855; nous avions remarqué aussi, en 1862, le *Livre des Rois*, les *Évangiles*, l'*Histoire du palais de Compiègne;* enfin, nous avions vu, toujours à Londres, le tableau synoptique des caractères orientaux et des spécimens obtenus par l'application de l'électricité à la reproduction des types. En 1867, nous a-t-on montré autre chose ? Avons-nous à constater des progrès marquants? Nous n'oserions l'affirmer. Certes, l'édition des *Commentaires de César* est une œuvre d'érudition, une restitution dans le sens littéraire de ce mot et qui fait le plus grand honneur à M. Dubner; — la *Poliorcétique des Grecs* est une réimpression splendide et qui renferme des parties entièrement inédites, empruntées à des sources originales, ce qui prouve que l'Imprimerie impériale sait s'adjoindre des savants et des chercheurs; mais ces ouvrages ont-ils, au point de vue typographique, un mérite transcendant ? et l'industrie particulière, si elle pouvait disposer des ressources que possède l'établissement gouvernemental, ne ferait-elle pas aussi bien et dans des conditions plus économiques? Ces questions se posent forcément, lorsqu'on voit cet établissement privilégié imposer ses services aux administrations publiques, malgré les réclamations énergiques de plusieurs ministères, et lorsqu'en examinant le tarif de ses impressions on constate qu'il fait une concurrence sérieuse à l'industrie particulière, tout en grevant le trésor public de sommes considérables, d'une part par le montant de sa dotation, d'autre part par les frais d'impression qui dépassent ceux que réclamerait l'industrie privée.

Les Gobelins, Sèvres, produisent chaque année des chefs-d'œuvre contre lesquels l'industrie particulière ne songe pas à lutter; mais Sèvres et les Gobelins n'imposent pas leurs produits et laissent le champ libre à l'industrie privée, qui n'a pas de subventions de l'État pour créer des merveilles.

Le développement des considérations qui devraient faire renoncer l'Imprimerie impériale au monopole qu'elle s'est arrogé nous entraînerait trop loin. Aussi, toutes réserves faites, nous revenons à l'exposition de l'établissement privilégié, pour répéter que plusieurs de ses éditions récentes ont un très-grand mérite. Nous citerons seulement les *Grammaires comparées des langues indo-européennes*, les *Prairies d'or*, en arabe, avec une traduction, la *Grammaire javanaise* et de nouveaux spécimens obtenus par l'application de l'électricité, procédé sur lequel nous aurons à revenir dans notre étude sur la stéréotypie; mais, en définitive, nous devons le répéter, nous n'avons à constater aucun progrès saillant, lorsque nous comparons l'Exposition de 1867 à celle de 1862.

Le *Magasin pittoresque* a été la première publication moderne illustrée en France. En parcourant sa collection, on peut se rendre compte des progrès im-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

menses faits par l'illustration sur bois. La médaille d'or décernée à M. Best, qui exposait en même temps l'*Histoire de France* et les *Voyageurs*, est un juste tribut payé aux efforts incessants de cet éditeur, et c'est avec plaisir aussi que nous avons vu attribuer des distinctions à ses coopérateurs, MM. Cosson, graveur, Pellegrin-Dorfeuil, prote, Seygneurin et Moll, conducteurs de machines.

Il ne nous reste plus qu'à mentionner deux médailles d'or attribuées à la France pour la publication de livres : celle de M. Morel, pour ses ouvrages sur l'architecture et les beaux-arts, et celle de M. Crété, de Corbeil, qui nous paraît doublement méritée par l'exécution soignée des livres qui sortent de son imprimerie et par la lutte persévérante qu'il a soutenue pour maintenir dans ses ateliers le travail des femmes, donnant ainsi une existence assurée et honorable à celles que les commis en nouveautés et en confections ont expulsées des magasins où elles avaient leur place marquée.

M. Goupil a eu la médaille d'or pour ses estampes ; M. Hangard-Maugé, pour ses chromo-lithographies. Nous citons ces noms pour mémoire, parce que nous devons nous borner à la typographie proprement dite ; mais le jury, quelquefois si prodigue de distinctions, n'a-t-il pas relégué au second ou au troisième plan des éditeurs ou des imprimeurs qui auraient dû se trouver au premier ? Nous avons eu l'occasion d'assister à une visite des membres du jury et nous avons vu comment se passaient les choses. Le délégué qui avait pris par sa nationalité le rôle de guide s'arrêtait avec complaisance devant les produits dont il voulait faire ressortir le mérite, et passait, sans s'arrêter, devant les montres des exposants dont il n'avait sans doute pas eu le temps d'apprécier par lui-même les produits. De là des oublis regrettables, et nous demandons, par exemple, si ce n'est pas par la rapidité de la visite du jury qu'il faut expliquer l'attribution d'une simple médaille d'argent à M. Ambroise-Firmin Didot, à M. Paul Dupont, à M. Gauthier-Villars ? Lorsque nous avons vu que l'Imprimerie impériale est restée stationnaire, peut-on juger que M. Didot ou M. Paul Dupont aient démérité ? M. Dupont, d'ailleurs, qui occupe 1100 personnes, 44 machines et 30 presses à bras, n'avait-il pas exposé des livres remarquables ? Nul ne s'avisera de dire le contraire ; mais on se répète que M. Dupont fait une guerre acharnée au monopole de l'Imprimerie impériale, et les vastes ressources dont dispose le directeur de l'imprimerie administrative ne doivent pas être mises en trop grande évidence.

Quant à M. Gauthier-Villars, nous aurions voulu lui voir décerner une médaille d'or pour ses livres relatifs aux mathématiques supérieures. Il y avait dans sa montre des spécimens d'opérations algébriques d'une netteté remarquable. Les formules dont sont hérissés les livres qu'il publie sont exemptes de ces fautes qui font le désespoir des mathématiciens. Aussi le jury a-t-il accordé une distinction au correcteur de M. Gauthier-Villars, M. Bernier, que l'Imprimerie impériale s'est empressée de s'attacher depuis pour la révision de ses publications scientifiques.

Le jury s'est-il montré rigoureux envers M. Plon en ne lui attribuant qu'une médaille d'argent ? Les hommes compétents pensent que le jury ne s'est montré que juste. M. Plon imprime beaucoup, il imprime même trop pour donner aux livres qui sortent chaque jour de ses quatorze presses mécaniques tous les soins qu'exige une impression parfaite. M. Plon obtenait encore à Londres, en 1862, une médaille de prix ; cependant, dès cette époque, le prestige qui s'était attaché à son nom commençait à s'évanouir aux yeux des typographes français. En effet, nous lisons les lignes suivantes dans le rapport des délégués de la Typographie :

« Comme impression et comme composition, la maison Plon a exposé quel-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ques beaux spécimens qui méritent de fixer l'attention, mais la plupart de ses ouvrages sont d'un travail très-ordinaire, quelquefois faible, et il nous a semblé que beaucoup figuraient là plutôt comme ouvrages de librairie que comme produits typographiques. Il est une chose que nous ne pouvons nous empêcher de regretter : c'est le type des caractères de cet établissement qui nous paraît du plus mauvais goût. Rien de plus disgracieux que ces angles arrondis qui détruisent l'harmonie dans les lignes de titre et donnent un cachet bizarre à ses ouvrages. Dans le texte courant, le même défaut se fait remarquer : de plus, on y trouve des lettres contournées d'une façon tout à fait disgracieuse, notamment l'*y* et le *g*. Si c'est là une distinction pour les ouvrages portant le nom de M. Plon, nous lui dirons franchement que cette innovation est bien loin d'être heureuse. »

La vérité avait été dite d'une manière peut-être un peu brutale par MM. les délégués de la typographie à l'Exposition de 1862 ; mais enfin c'était la vérité. En 1867, M. Plon a exposé diverses œuvres remarquables : *Thorwaldsen*, l'*Album du voyage de l'Impératrice en Lorraine*, la *Vie de César*. Lorsqu'on examine chacune des pages de ces livres, on la trouve irréprochable, et cependant l'ouvrage ne plaît pas à l'œil habitué à voir l'ensemble harmonieux des livres publiés par les Didot, les Claye, les Lahure et d'autres dont le nom nous vient sous la plume.

Suivrons-nous maintenant la liste de tous les médaillés et publierons-nous une seconde édition du Catalogue des récompenses, en indiquant les exposants pour lesquels le jury aurait été, d'après nous, très-débonnaire, et en signalant toutes les erreurs qu'il a faites, tous les oublis qu'il a pu commettre ? La tâche serait longue et fastidieuse, fastidieuse surtout pour nos lecteurs. Disons, cependant, pour consoler les exposants qui, à tort ou à raison, croient avoir à se plaindre du verdict prononcé, qu'une juridiction d'appel revise les jugements du jury. Nous nous bornerons à citer un exemple, parce qu'il nous touche de près et qu'il ne doit pas être indifférent à nos lecteurs. M. Eugène Lacroix, directeur des *Annales du Génie civil* et des *Études sur l'Exposition*, avait exposé ces deux publications (six années des *Annales* et les premiers fascicules des *Études*); de plus, il avait exposé sa *Bibliothèque des professions industrielles et agricoles* et de nombreux spécimens de ses autres publications. M. Lacroix s'est vu attribuer, lui cinquante-sixième, une médaille de bronze; mais le public et la presse n'ont pas ratifié ce verdict. Naguère, le *Moniteur universel* proclamait que les *Études sur l'Exposition* était la publication la plus remarquable qui eût paru sur l'Exposition de 1867, et il y a quelques jours, M. Figuier, dans un article consacré au rapport officiel du jury international sur l'*Exposition*, s'exprimait en ces termes (*Presse* du 13 septembre) :

« On regrette pourtant, disons-le, l'absence de planches gravées dans une publication de ce genre. Il est bien des faits que la plume est impuissante à retracer et que la gravure fait comprendre en quelques traits. Il est donc très-fâcheux que, pour des raisons d'économie, on ait cru pouvoir se passer de ce puissant moyen de démonstration. En cela le recueil officiel s'est laissé distancer par la librairie privée, et par exemple par les *Études sur l'Exposition*, qu'un éditeur plein de zèle, M. Eugène Lacroix, fait paraître depuis un an. Les *Études sur l'Exposition*, publiées par M. Lacroix, sont d'un grand secours aux ingénieurs, grâce aux planches gravées qui les accompagnent, et nous avons éprouvé une véritable déception en voyant paraître, sans la moindre figure sur bois ou sur acier, la collection publiée sous les auspices du gouvernement. »

On comprend qu'en présence d'une semblable appréciation, notre directeur se soit consolé facilement de n'avoir reçu du jury qu'une médaille en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bronze, et nous souhaitons à ceux qui croient avoir à se plaindre les mêmes motifs de consolation.

Sans donc nous arrêter davantage sur l'exposition française de la 6e classe, nous abordons les pays étrangers.

ANGLETERRE. — Empruntons d'abord quelques données statistiques au Catalogue officiel anglais : elles se rapportent à l'année 1865.

	Importations.	Exportations.
Livres imprimés dans le Royaume-Uni.	2,987,150 fr.	12,784,700 fr.
Imprimés, gravures, etc.	913,125	773,400
Total.	3,900,275 fr.	13,558,100 fr.

Ces chiffres démontrent que l'Angleterre exporte pour 10 millions de francs environ de livres de plus à l'extérieur qu'elle n'importe de livres étrangers chez elle ; mais ils ne donnent aucune idée de la production de l'Angleterre. « Il n'existe, dit la Commission anglaise, aucun travail statistique sur la quantité de livres qui s'impriment annuellement, mais nous pouvons par à peu près suppléer à cette lacune. » En effet, la Commission impériale française ayant demandé au gouvernement anglais de donner une histoire analytique des progrès sociaux réalisés en Angleterre pendant les dix dernières années, la Commission anglaise répondit (nous traduisons le document du département des sciences et des arts) [South Kensington] :

« Si cette proposition avait été aussi pratique au point de vue de l'exécution qu'elle est vaste dans son objet, et si la Commission anglaise avait eu à sa disposition un état major formé d'avance d'encyclopédistes aussi puissamment doués que ce célèbre corps dont le génie a jeté un éclat si brillant sur l'illustre contrée qui les a produits, alors le résultat eût été peut-être (mais, dans tous les cas, pas en temps utile pour l'Exposition) une série de volumes qui, pour être portatifs, auraient dû présenter un phénomène de compression pour l'accomplissement duquel l'application de forces hydrauliques intellectuelles eut été indispensable : l'histoire des progrès d'une nation est l'histoire de ses arts mécaniques et de ses manufactures ; de ses sciences abstraites et de leur application ; de ses chemins de fer et de ses télégraphes ; de son commerce, de ses finances, de ses lois ; de ses douanes ; de sa littérature, de ses plaisirs, de sa religion et de mille autres éléments de la vie civile, pour lesquels le temps et l'espace nous font défaut. Aussi avons-nous regardé comme impraticable la tâche de répondre en temps opportun à la vaste question proposée. Mais comme tous les points caractéristiques que nous venons d'examiner, et qui, en résumé, constituent l'histoire d'une nation, sont plus ou moins directement représentés par les productions de l'imprimerie, nous avons pensé que l'exposition des livres sortis, pendant une année, des presses anglaises serait, sinon une réponse directe, du moins un essai de réponse à la vaste question qui nous était posée. Des livres imprimés pendant une année, il n'est pas difficile d'arriver à des conclusions historiques sur la production de la décade qui a précédé, et nous pensons qu'il n'y a guère d'indication plus digne de croyance et plus évidente, et pas de table de matière plus intelligible des progrès faits par une nature que la nomenclature des livres qu'elle produit. »

En Angleterre, il n'existe pas de dépôt obligatoire ; par conséquent, la Commission a dû avoir recours au bon vouloir des éditeurs pour avoir non-seulement l'indication, mais un exemplaire même des livres publiés. Les éditeurs qui ont répondu à son appel sont au nombre de 184 : de Londres, 133 ; d'Édimbourg, 6 ; de Dublin, 2 ; des divers comtés, 43. Le nombre des volumes envoyés est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 4,752, dont 3,399 représentent les publications nouvelles, 1,353 les réimpressions.

Il n'est sans doute pas sans intérêt de faire connaître la nature des livres imprimés dans le Royaume-Uni en 1863 : architecture, 25 volumes ; classiques, 44 ; ayant rapport au commerce, 114 ; dictionnaires, catalogues, guides, 101 ; livres d'éducation, 657 ; essais et didactique, 71 ; fictions en prose (romans), 1,007 ; histoire, mémoires et autres narrations présentées comme vraies (*professing to be true*), 294 ; ouvrages illustrés, 164 ; livres de droit, 34 ; ouvrages relatifs à la mécanique et à l'art de l'ingénieur, 36 ; mélanges, 185 ; histoire naturelle, 182 ; art naval et art militaire, politique et sciences sociales, 53 ; passe-temps, 69 ; poésie, 500 ; religion, 932 ; sciences, médecine, 189 ; agriculture, économie domestique, 95 ; voyages, topographie, 108. Total : 4,752.

Ajoutons à cette nomenclature que le nombre des journaux et des publications périodiques enregistrés a été de 1,657 pour 1864, dont 1,307 pour l'Angleterre proprement dite, 157 pour l'Irlande, 133 pour l'Écosse et 60 pour le pays de Galles.

Nous reproduisons les lignes suivantes du travail de la Commission anglaise ; chaque lecteur pourra en faire le commentaire :

« Parmi les causes qui ont récemment contribué au perfectionnement de l'imprimerie dans ce pays, figurent en première ligne l'ABOLITION DU DROIT DE TIMBRE SUR LES JOURNAUX et du droit d'excise sur le papier. La *suppression de ces taxes* a permis aux journaux, qui ont néanmoins conservé leur ancien format, d'être vendus *au prix de 10 centimes* ; il en est résulté que, *tout en étant placés à la portée des masses, de grandes améliorations* ont été introduites *dans les divers procédés se rattachant à leur publication.* »

Qui habent aures audiant !

Des 1,657 journaux publiés en Angleterre, environ 1,200 (journaux politiques et journaux de nouvelles) étaient représentés à l'Exposition et renfermés dans 48 caisses. Ajoutons comme un reproche mérité qu'il était permis de *regarder* l'ensemble, mais qu'il fallait une autorisation émanant de bien haut pour *voir* un de ces journaux ; venaient ensuite une quantité innombrable de *magasins* et de périodiques *renfermés* dans douze armoires, savoir :

Religieux[1]	226	*Report*	391
Armée et marine	20	Revues scientifiques et de philosophie.	69
Droit	33	Beaux-arts, etc.	15
Médecine	34	Mécanique	12
Revues politiques, etc.	35	Éducation.	24
Agriculture	23	Périodiques, pour les enfants	52
Sport	20	Littérature légère et mélanges	135
A reporter	391	Total	698[2]

Toutes ces feuilles périodiques, toutes ces publications, ou du moins le plus grand nombre, sont plus lisibles, sont mieux imprimés que les journaux du con-

1. Quelques-unes de ces publications religieuses, parmi lesquelles figurent toutes les religions, toutes les sectes, ont des titres assez singuliers : nous avons remarqué l'*Armurier*, la *Bannière de la vérité en Irlande*, le *Boulevard*, l'*Ambassadeur chrétien*, l'*Église du peuple*, l'*Étoile millenaire* (journal des Saints des Derniers Jours), le *Filet*, le *Vieux Jonathan*, le *Budget de notre vicaire*, les *Temps prophétiques*, l'*Épée et la Truelle*, *Choses neuves et vieilles*, la *Trompette de Sion*, etc., etc.

2. Le total des journaux 1200, et des autres publications 698, dépasse le nombre de 1657 ; mais il faut observer d'abord que les nombres indiqués se rapportent à deux années différentes, ensuite que tous les journaux ne sont pas *enregistrés*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tinent. La clarté, la netteté des types sont pour beaucoup dans cette supériorité. Ajoutez-y la qualité du papier et des encres employées, mais ajoutons aussi, — de nouveau, — que les journaux anglais ne portent pas à un de leurs angles cette petite vignette qui macule les feuilles françaises et qui coûte si cher, que, pour la payer, on est obligé d'économiser sur la qualité de l'encre et du papier. Si l'on veut, en France, se dispenser de cette illustration coûteuse, on est d'un autre côté privé du droit d'insérer des annonces, et c'est le produit des annonces, — sans timbre, — qui fait la fortune des journaux anglais.

Maintenant, pour être vrai, disons que l'Angleterre ne nous a guère envoyé de chefs-d'œuvre typographiques. Si la *Bible* du prince de Galles est une publication splendide, elle doit cependant être considérée comme hors de concours : un livre qui est tiré à quinze exemplaires coûtant chacun quinze guinées, soit 2,600 francs, ne rentre pas dans la catégorie des impresssons ordinaires ; c'est, si je puis m'exprimer ainsi, une fantaisie de tête couronnée qui n'a rien de commun avec l'impression considérée au point de vue ordinaire. Aussi, M. Mackenzie, de Glascow, qui avait exposé cette Bible, n'a-t-il obtenu qu'une médaille d'argent.

Remarquons aussi que la grande exposition collective des produits de la librairie anglaise, en donnant une idée d'ensemble, a nui aux imprimeurs qui ne figuraient que dans cette exposition collective et qui n'avaient pas jugé utile de faire une exhibition particulière.

M. Clowes, de Londres, eût eu indubitablement une médaille d'or pour ses éditions, mais il faisait partie du jury et était donc placé hors concours. Une médaille d'or a été attribuée à M. Brooks, mais il s'agit de chromo-lithographies et non de livres.

M. Spottiswood a eu une médaille d'argent. M. Spottiswood dirige une des plus grande imprimeries du monde. Dans ses vastes ateliers de New-Street-Square, à Londres, fonctionnent 22 presses à vapeur actionnées par deux machines, 22 presses à bras. On y emploie 500 compositeurs, et le poids des caractères dépasse 240 tonnes métriques. Son exposition comprenait des livres en latin, en grec, en sanscrit, en maharat, en islandais, en chinois avec caractères romains, en grec moderne, enfin un dictionnaire et une grammaire des hiéroglyphes égyptiens. Le catalogue spécimen des types et des caractères employés dans la maison Spottiswood est une œuvre d'art des plus curieuses.

La maison Cassel, Petter et Galpin (médaille d'argent) avait exposé 70 publications différentes, la plupart destinées aux classes ouvrières. Ces publications sont généralement remarquables par un bon marché extraordinaire qui n'exclut pas une grande netteté de l'impression et un grand fini d'exécution pour les gravures.

MM. Virtue et Cie ont eu la médaille d'argent pour leurs livres illustrés. Il faut avouer que l'illustration a acquis un grand degré de perfection en Angleterre : il est telle vignette qu'on dirait détachée d'un album de gravures à l'eau forte. La vue de la collection de l'*Illustrated London News*, qui a également obtenu une médaille d'argent, n'est pas de nature à affaiblir cette appréciation.

Résumons notre pensée sur l'imprimerie en Angleterre.

La question du mérite relatif de la France et de l'Angleterre a été traitée avec beaucoup de soin dans deux journaux spéciaux : *the Printers' Register*, de Londres, et l'*Imprimerie*, de Paris. Le résultat de la polémique très-courtoise entre deux spécialistes fort compétents a été que *the Printers' Register* reconnait que la France *fait mieux* que l'Angleterre, au point de vue de l'élégance, mais que l'Angleterre *pourrait faire* aussi bien que la France, si elle voulait s'en donner

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la peine et si elle était certaine de trouver un bénéfice rémunérateur dans l'impression de livres luxueusement imprimés. « L'Angleterre, du reste, ajoute le journal de Londres, a la prééminence pour la rapidité de l'exécution et pour le bon marché des produits. »

Le journal français, sans tenir compte de l'explication de son confrère anglais répond : « Puisque vous pourriez faire aussi bien que nous, pourquoi ne le faites-vous pas ? » Mais l'*Imprimerie* passe sous silence la question de rapidité et de bon marché. Il est vrai qu'en France, à l'aide du procédé de clichage et de presses à grand tirage, on est parvenu aussi à une très-grande rapidité, mais les feuilles livrées au public sont souvent si mal imprimées, que la comparaison avec les productions similaires anglaises n'est même plus possible.

En dernière analyse, nous dirons donc : Les impressions *soignées* de la France sont *mieux soignées* (c'est à dessein que nous répétons ce mot) que celles de l'Angleterre ; mais l'Angleterre a la supériorité sur la France pour les publications à bon marché, et elle a par conséquent la prééminence, puisque c'est le bon marché seul qui peut aider à instruire les masses et à élever le niveau intellectuel du peuple par la vulgarisation de toutes les notions utiles[1].

Nous ne quitterons cependant pas l'exposition anglaise sans quelques mots de critique sur les nombreuses fautes qui émaillent un certain nombre de livres, dès qu'il y a une intercalation ou une note dans une langue étrangère. Il y a là parfois une négligence, un laisser-aller qui dépassent toutes les bornes, et nous avons remarqué des fautes très-graves de ce genre dans des livres expressément destinés à l'étude d'une langue étrangère.

Nous avons employé le mot *laisser-aller*, lorsqu'il s'agit des langues étrangères. Nous avons recueilli à titre de curiosité bibliographique un prospectus qui a été distribué pendant les premiers jours de l'Exposition. Nous allons le reproduire textuellement (sauf le nom et l'adresse de l'exposant) : l'on verra que l'auteur de ce prospectus, *fournisseur des écoles*, a pensé que, pour traduire de l'anglais en français, il suffisait de prendre un dictionnaire et de mettre à la place du mot anglais le premier mot français indiqué par le lexique. Comme de raison, l'ordre des mots anglais a été scrupuleusement observé par le traducteur. S'il dit, par exemple, *imprime dessein modèles*, il faut lire : *modèles de dessins imprimés*, et encore serait-ce là une faute, car le texte anglais porte *painted drawing models* et non *printed drawing models* ; *perfectionne pupitre et seige sur quadrant supports*, signifie : *pupitre perfectionné et siége à supports carrés*. *Prix de bois*, c'est du *bois de prix* ou du *bois ouvré* (*woodwork*). Les *pupitres pours filles en tache et verin* sont des pupitres *peints et vernis* pour filles ; seulement *stained*, peint ou teint, signifie aussi, comme nos lecteurs le savent, *taché*, et *varnished*, verni, est devenu *verin*. Quant au titre : *Fabricant d'apparat d'éducation*, c'est de *matériel de l'enseignement* qu'il faut lire.

1. L'opinion que nous exprimons est corroborée par l'appréciation suivante que nous trouvons dans le Compte rendu présenté à la Société fraternelle des Protes de Paris, par M. Cusset, prote chez MM. Lahé et Havard, successeurs de la maison Didot.

« ... Nous devons surtout reconnaître que les Anglais nous sont généralement supérieurs dans la confection de leurs impressions les plus ordinaires. Chez eux le plus petit bouquin le journal le moins estimé, les plus simples prospectus destinés à être jetés dans tous les coins de rues, tout cela est propret, bien lisible, bien ordonné et surtout bien tiré. Que ce soit à la bonne qualité de leur encre, à la supériorité de leur papier, ou à l'habileté de leurs ouvriers qu'il faille attribuer cette différence, *toute à leur avantage*, entre leurs travaux et les nôtres de ce genre, toujours est-il qu'elle existe et qu'elle s'est *affirmée d'une façon plus éclatante encore* à cette dernière Exposition. »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici ce prospectus curieux :



PRIX MEDAILLE A LONDRES, 1862.

GEO. M. ******,

POURNISSEUR DES ECOLES & FABRICANT D'APPARAT D'EDUCATION,

44, ****-STREET, LONDRES, N. W.

ARTICLES EXPOSE A PARIS, 1867.—CLASSE 89.

Géometrique Solides. . . .	70 frcs. l'assortement dans boite.
Imprime Dessein Modeles. . .	13 frcs. l'assortement dans boite.
Mécanique puissance. . . .	132 frcs. l'assortement.
La Table d'ouvre pour Maitresse d'ecole	138 frcs.

Pupitre plain et seige fort, en tache et verin bois de Sapin 9 frcs. le metre.
Supports en fer. . . . . 3 frcs. and 1-50 chaques.
Pupitre et seige pours filles, en tache et verin bois de Sapin 9 frcs. le metre.
Supports en fer. . . . . 3 frcs. and 1-50 chaques.

Perfectionne pupitre et seige sur Quadrant supports.
Et Pupitre oblique, table plat, et seige avec dos.
Avantages—Libre passage entré pupitre et seige.
Siege confortable pour lecture et cetera.

Prix de bois—Bois de sapin tache et verin . . . . 10 frcs. le metre.
Bouleau Verni . . . . . 16 frcs. le metre.
Supports en fer . . . . 6 frcs. 20 cts. and 1-50 cts. chaque.

L'Osborne Pupitre et siege.
Pupitre oblique, table plat et seige avec dos.
Avantages—Grand simplicité.
Siege plus ample avec dos.

Prix de bois—Bois de sapin tache et verni. . . 8 frcs. le metre.
Bouleau Verni . . . . . 12 frcs. le metre.
Supports en fer . . . . . 6 frcs. 20 cts. chaque.

Ce n'est pas sans raison que nous avons dit que ce prospectus est une curiosité bibliographique; car, sans doute sur l'observation de la Commission anglaise, cet imprimé a promptement disparu, et les démarches d'amateurs d'incunables, pour en posséder un exemplaire, n'ont pas été couronnées de succès. C'est pour leur donner une satisfaction partielle que nous l'avons reproduit et non pour dresser un acte d'accusation contre les éditeurs anglais qui impriment des livres en langue étrangère. Nous dirons même que nous considérons comme un véritable déni de justice l'attribution par le jury d'une simple mention honorable au Dictionnaire anglais-français, in-8°, en caractères de cinq points (diamant), de Bellows, de Glocester. Ce Dictionnaire est une merveille au point de vue typo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

graphique, et sous le rapport de la correction, il n'a rien à envier aux ouvrages de Didot, les éditions au louis d'or, ainsi nommées, parce que le célèbre imprimeur donnait un louis à toute personne qui découvrait une faute dans la dernière épreuve (le bon à tirer) affichée à la porte de l'imprimerie.

ITALIE. — L'Italie ne comptait dans la classe 6 que 34 exposants. Aucun de ces exposants n'a été jugé digne d'être mis hors concours ; aucun grand prix ne leur a été décerné. L'imprimerie italienne n'a pas obtenu de médaille d'or, et si une seule médaille d'argent figure sur la liste des récompenses, elle a été décernée aux pères Mékhitaristes de Saint-Lazare, de Venise, pour leurs livres en langues orientales. Or, le livre exposé par les RR. PP. était une traduction en arménien de la *Vie de Jules César*, de Sa Majesté Napoléon III. Cette unique médaille en argent est-elle la récompense des imprimeurs ou du traducteur, ou, passant par dessus leurs têtes, est-elle un hommage indirect que le jury a voulu rendre à l'auteur? Nous ne savons ; mais si nous ajoutons que tout ce que la Péninsule a obtenu consiste en cette médaille et en sept médailles de bronze, l'on conviendra que le temps est loin où l'Italie avait su conquérir la première place pour ses chefs-d'œuvre typographiques.

N'est-ce pas dans les environs de Rome, dans le couvent de Subiaco, que furent établies les premières presses, en dehors de l'Allemagne, et cela dès l'année 1465, c'est-à-dire treize ans après la date assignée à l'impression de la première Bible par Gutenberg [1] ?

N'est-ce pas à Venise que nous trouvons, dès 1469, Jean de Spire suivi bientôt de Jenson, que Louis XI avait envoyé, en 1462, à Mayence pour y surprendre les secrets de l'art, mais qui, trouvant la France en proie aux troubles politiques, alla s'établir dans la ville des doges ?

N'est-ce pas Venise qui a remplacé par des caractères, dont les formes étaient empruntées aux manuscrits romains, les formes si lourdes des caractères demi-gothiques ?

N'est-ce pas Venise qui est la patrie des Aldes, qui introduisirent dans leurs ouvrages les caractères cursifs que nous nommons *italiques?*

Enfin, pour ne pas nous arrêter aux siècles intermédiaires, n'est-ce pas à Parme que vécut Bodoni, le Didot de l'Italie, qui forma la célèbre typographie polyglotte et qui publia des opuscules imprimés à la fois en vingt-cinq langues, avec les caractères propres de chacune d'elles, caractères qu'il avait gravés et fondus lui-même ?

Copions ce que le jury de l'Exposition de 1806, à Paris, disait à propos de Bodoni, qui obtint la médaille d'or : « M. Bodoni est un des hommes qui ont le plus contribué aux progrès que la typographie a faits dans le dix-huitième siècle et de notre temps. Il réunit plusieurs talents ordinairement séparés et pour chacun desquels il mériterait la distinction de premier ordre. Il est à remarquer, à l'honneur de M. Bodoni, qu'il a exécuté tous ses travaux dans un pays où il était seul, abandonné à ses propres moyens, et où la typographie était, *avant lui, plus négligée que dans aucun autre pays de l'Europe.* »

Cette dernière phrase est la transition naturelle à l'exposition actuelle. Bodoni fut un météore lumineux. Lorsqu'il disparut, la typographie fut négligée comme avant lui. Il y eut cependant d'honorables exceptions, mais ce ne furent que des exceptions. Citons, à ce titre, les Bettoni, les Silvestri, les Molini, et, dans un

1. Conrad Sweynheim et Arnold Pannartz imprimèrent en six ans, à Subiaco, 28 ouvrages dont plusieurs furent réimprimés deux ou trois fois pendant ces six ans ; le nombre d'exemplaires n'était en moyenne, pour chaque tirage, que de 300. L'ensemble des volumes tirés de 1461 à 1471 est de 1247.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

temps plus rapproché encore, les Pomba, les Le Monnier et les Barbera, dont nous allons retrouver les noms.

Nous avons omis MM. Chirio et Mina, qui avaient envoyé à la première Exposition universelle (1851) une *Histoire de l'abbaye d'Altacomba*, que le jury international « avait remarquée avec intérêt. » Il est vrai que le jury ajoutait « que MM. Chirio et Mina avaient fait usage des beaux caractères gravés par Firmin Didot père. »

D'après le travail de la Commission royale, l'Italie compte aujourd'hui environ 600 typographies, avec 2,000 presses à imprimer et 8 à 10,000 employés comme comptables, commis-voyageurs, compositeurs, pressiers, relieurs. On voit donc que si, comme la Commission l'avoue elle-même, « l'art typographique ne rivalise plus de nos jours par l'abondance et la variété de ses produits avec les autres nations, il a cependant conservé une certaine importance. » D'ailleurs, comme le dit l'écrivain officiel, « on retrouve dans les ouvrages actuellement publiés la tradition de l'érudition nationale, et on peut les montrer comme d'heureux spécimens d'un art qui n'a rien perdu de sa force et qui n'*attend* que de pouvoir, *grâce à des temps plus calmes*, faire une plus grande moisson pour se donner *une vie nouvelle*. »

Nous n'avons recueilli aucun chiffre sur la production des presses italiennes, mais voici le relevé au point de vue commercial :

ANNÉES.	IMPORTATIONS.		EXPORTATIONS.	
	QUANTITÉS.	VALEURS.	QUANTITÉS.	VALEURS.
	quintaux métriques.	milliers de francs.	quintaux métriques.	milliers de francs.
1862.....	4,788	2,192	1,411	705
1863.....	4,546	2,079	1,134	517
1864.....	4,161	1,954	1,404	638
1865.....	3,853	1,850	776	350
Moyenne...	4,336	2,019,000 fr.	1,180	552,000 fr.

En résumé, les importations de livres, en Italie, dépassent donc annuellement 2 millions, tandis que les exportations n'atteignent pas plus de 550,000 fr. Le mouvement commercial de l'Italie, en fait de livres, est donc bien peu considérable, si on le compare, par exemple, avec celui de la Belgique, qui compte moins de cinq millions d'habitants, tandis que le royaume d'Italie en compte 24,232,000, c'est-à-dire environ le quadruple. Les exportations en livres de la Belgique atteignent une valeur de 914,260 francs, c'est-à-dire, par rapport à l'Italie, dans la proportion de 17 à 10, et les importations, en Belgique, sont de 3,183,440, c'est-à-dire dans la proportion de 3 à 2, si on les compare à celles de la Péninsule italique.

Espérons donc, avec l'auteur de l'*Italie économique*, que « des temps plus calmes permettront de donner au pays une vie nouvelle. »

Lorsqu'on parcourt l'exposition italienne, le catalogue à la main, on est étonné d'y rencontrer la mention fréquemment répétée à côté d'un ouvrage indiqué : *Sous presse*. Il faut avant tout être juste : les typographes italiens, au milieu des événements politiques qui se sont déroulés en 1865 et en 1866, n'ont pas eu le temps suffisant et l'esprit assez libre pour se préparer à figurer, comme ils l'auraient voulu, à l'Exposition de 1867. Ceci explique sans doute certaines défaillances.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Pomba, de Turin, dont nous avons déjà cité le nom, appartient à la pléiade des imprimeurs italiens qui ont essayé de renouer les bonnes traditions du passé. M. Plomba a un établissement considérable : il emploie 15 machines et a un personnel de 90 hommes, de 9 femmes et de 9 enfants. Il produit annuellement 150,000 volumes, d'une valeur de 450,000 francs. Nous ne ferons pas un éloge pompeux des livres exposés, mais cependant ils sont au-dessus de la médiocrité.

Les cinquante petits volumes de M. Barbera (Florence) sont d'une bonne exécution ; ils constituent ce qu'on nomme la collection diamant.

M. Le Monnier publie une bibliothèque nationale italienne qui avait déjà été distinguée à l'Exposition de Londres de 1862.

M. Cellini se consacre plus particulièrement aux impressions de luxe : les documents tirés des archives toscanes ont un véritable mérite.

MM. Nistri frères ont une exposition variée, trop variée peut-être. Si les efforts de MM. Nistri se concentraient sur un genre particulier, ils arriveraient à de meilleurs résultats.

Citons encore les deux autres imprimeurs qui ont obtenu des médailles de bronze : M. Lao, de Palerme, et Gaetano Nobile, de Naples. Pour ce dernier, ce sont surtout ses spécimens de chromo-typographie qui ont été distingués. Nous nous rappelons avoir vu, il y a quelques années, une description d'Herculanum magnifiquement illustrée, de M. Nobile ; seulement l'édition populaire, — il y avait une édition de luxe, — était tirée sur un papier trop mince et trop étroit, ce qui détruisait tout l'effet qui nous avait fait remarquer la grande édition. Aujourd'hui, les spécimens de M. Nobile sont remarquables sous tous les rapports.

Le jury n'aurait-il pas dû accorder au moins des mentions honorables à M. Henri Dalmaze pour son Dictionnaire polyglotte en onze langues ; à la typographie Claudienne, qui produit 300,000 feuilles par an, au prix de 4 centimes la feuille ; à M. Chiossone pour son *Italie artistique*, et même à M. Sonzogno, de Milan, ne fût-ce qu'à titre de grand producteur ?

S'il faut tenir pour exactes les mentions du catalogue, M. Sonzogno édite deux journaux politiques quotidiens, 6,025,000 exemplaires ; deux journaux de luxe hebdomadaires, 364,000 exemplaires ; quatre journaux populaires illustrés, 520,000 exemplaires ; sept journaux de modes, ensemble : 27,000 exemplaires, *etc.* Sous ce mot *etc.* sont compris 563,000 exemplaires pour les dessins, gravures, étrennes. Cet ensemble est prodigieux ; mais, il faut bien l'avouer, généralement la qualité ne répond pas à la quantité produite.

Wurtemberg. — L'exposition de ce pays est remarquable sous tous les rapports. Mais aussi n'oublions pas que Stuttgard est pour le sud de l'Allemagne un centre d'éditeurs, comme Leipzig l'est pour les États du Nord. Nous n'avons pas de statistique plus récente que celle de 1861 ; mais, dans cette année, le Wurtemberg comptait 106 imprimeries, et les librairies, magasins d'art, de musique et d'antiquités (ces dernières branches sont souvent réunies dans le même établissement) étaient au nombre de 125. L'importance des transactions, en ce qui concerne la librairie, atteignait 7 millions et demi de francs.

En tête des libraires éditeurs wurtembergeois, nous placerons M. Cotta, qui a une maison à Stuttgard et une autre non moins importante à Munich, et dont l'exposition formait toute une bibliothèque. Les grands auteurs allemands : les Gœthe, les Schiller, les Uhland, les Humboldt y apparaissaient dans tous les formats et avec des illustrations remarquables par leur exécution soignée [1].

1. « Quelle élégance dans les types ! Quelle sobriété dans les ornements ! Quel goût dans la disposition des titres ! Quelle justesse dans les encadrements ! Quelle harmonie dans la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une médaille d'argent a été attribuée à M. Cotta, ainsi qu'à MM. Ebnert et Seubert et à M. Hallberger. MM. Ebnert et Seubert ont su conquérir en Allemagne la première place pour les publications relatives à l'architecture. M. Hallburger brille par ses livres de luxe illustrés et par sa musique. L'album des gravures sur bois de sa maison comprenait des spécimens remarquables.

Cinq médailles en bronze ont été décernées à MM. Maecken, Hochdanz, Baeusner, Hoffman et Nitzschke. Ces distinctions nous paraissent méritées ; mais pourquoi n'avoir accordé aucune mention à la Société biblique du Wurtemberg, qui exposait une Bible en relief pour les aveugles, en 63 volumes, au prix incroyable de 130 francs, c'est-à-dire de 2 francs le volume?

Le catalogue du Wurtemberg est remarquable par les détails qu'il contient. Mais pourquoi l'édition française n'est-elle pas rédigée en français? Pourquoi y lisons-nous, par exemple, des phrases comme celle-ci :

« Comme place d'éditeurs Stoutgardt occupe le même rang pour le sud de l'Allemagne, *comme* Leipzic pour le nord. Le total des *transactions libraires* est monté à 3 1/2 millions de florins. »

Citons encore ces trois phrases :

« Ces efforts restèrent à l'état de simples *tentations*. La Commission qui, grâce aux lumières du Gouvernement, fut plus tard dotée de moyens plus larges et en puisa d'autres non moins importants dans la collection augmentée du dépôt d'échantillons à Stoutgardt, vit se couronner du meilleur résultat ses efforts qui se portaient surtout sur la formation des instituteurs nécessaires, sur l'acquisition des besoins matériels de l'enseignement comme des locaux et du *réquisitoire* nécessaire, comme modèles de plâtres, dessins, etc., augmentation des branches d'enseignement, surveillance et contrôle des écoles et la création d'autorités locales et spéciales, etc. Le développement rapide des écoles ouvrières communales n'a rien de *roide* ou de *monotone*. »

« Comme ils manquaient autrefois absolument d'établissements pour la préparation du lin, la culture en était restreinte *et ne fournissait à l'industrie que des petits propriétaires*, qui le travaillaient eux-mêmes. »

« L'industrie de laine en Wurtemberg est une industrie nationale, *tant par le temps de sa puissance* que par le rapport existant avec la production des laines en Wurtemberg. »

Et cela s'est imprimé dans la ville de Stuttgard, pour compte et sous la surveillance de la Commission spéciale wurtembergeoise! M. Paul Neff, qui imprime dans cette ville des ouvrages si corrects pour l'enseignement de la langue française, — et qui, cependant, n'a eu aucune mention à l'Exposition, — a dû rougir pour la capitale du Wurtemberg.

Terminons ce qui concerne l'exposition de ce royaume par un renseignement statistique qui permettra de juger de l'importance de Stuttgard au point de vue du nombre de livres qui y sont édités. En une seule année (1865), les livres envoyés à la foire de Leipsig présentaient en poids un total de 693,300 kilogrammes.

Prusse et États de l'Allemagne du Nord. — L'Imprimerie royale de Berlin avait été mise hors concours. Elle n'avait, d'ailleurs, envoyé que des épreuves

justification des pages! Quel fini dans le tirage! Nous sommes forcés d'avouer que c'est là de la simple, mais pure et belle typographie, qui cependant n'a obtenu du jury qu'une médaille d'argent. » Ainsi s'exprime, à propos des livres exposés par M. Cotta, un excellent juge qu'on n'accusera pas de partialité à l'égard de la typographie étrangère, M. Cusset, prote chez MM. Lainé et Havard, rapporteur de la Société fraternelle des Protes de Paris.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de papiers-monnaie et de titres de fonds publics ou d'obligations, exécutés avec beaucoup de soin et imprimés sur un papier spécial que l'on dit propre à empêcher les falsifications. Nous ne savons jusqu'à quel point cette prétention est justifiée. Les efforts des chimistes qui produisent des papiers infalsifiables et de ceux qui démontrent que ces mêmes papiers peuvent être parfaitement contrefaits, nous rappellent les luttes de l'artillerie et des blindages : à chaque blindage plus fort on oppose un canon plus puissant ; à chaque canon plus puissant, on oppose un blindage plus fort.

La palme pour toute cette contrée appartient incontestablement à MM. Giesecke et Devriendt, de Leipsig (Saxe), auxquels, à juste titre, a été decernée une médaille d'or. Leur imprimerie est la véritable imprimerie modèle de l'Allemagne. Il serait difficile de trouver un travail se rattachant par un côté quelconque à l'imprimerie, à la lithographie, à la taille-douce, qui ne s'exécute pas dans ces vastes ateliers où sont réunies 10 presses mécaniques, 26 presses à bras typographiques, 24 presses lithographiques, 26 presses en taille-douce, et d'où chaque année il sort environ 20,000 rames de papier imprimé. Du reste, l'imprimerie Giesecke et Devriendt avait déjà été remarquée à l'Exposition de Londres de 1862, et nous nous rappelons avoir lu dans le rapport des délégués de la typographie, publié par la Commission ouvrière, cet éloge concis, mais énergique : « Travaux en tous genres d'une belle exécution. Il est impossible de s'attacher de préférence à tel ou tel, car ils sont d'une égalité de ton admirable. » Ajoutons un détail qui prouvera quel prix MM. Giesecke et Devriendt attachent au progrès : un laboratoire de chimie est établi dans une des annexes de l'établissement ; deux savants y expérimentent toutes les compositions nouvelles susceptibles de trouver une application dans les diverses branches qu'exploite la maison.

Plusieurs médailles d'argent ont été attribuées à la Prusse : citons M. Brockhaus (Leipsick), l'éditeur des *Conversations-Lexicon*, et qui avait envoyé quelques ouvrages splendides ; M. Decker, dont on a admiré la Bible in-folio ; M. Duncker, exposant dans plusieurs classes, et dont les *Evangiles*, ornés de gravures imprimées en couleur sur fond de chêne, avaient déjà été distingués à Londres ; MM. Ernst et Korn, éditeurs de bons ouvrages sur l'architecture et la mécanique pratique, et MM. Trowitzsch, les infatigables imprimeurs de Bibles (ils en ont déjà tiré deux millions d'exemplaires). Les vignettes et les encadrements de MM. Trowitzsch présentaient un grand intérêt au point de vue de l'agencement ; M. Lorck a vu distinguer ses livres imprimés en caractères de langues orientales et européennes plus rares.

Nous n'avons pas encore cité M. Vieweg, à Brunswick, qui, outre la médaille d'argent qu'il a obtenue, mérite de notre part une mention toute spéciale : ses spécimens de typographie sont irréprochables à tous les points de vue, et, seul de toute l'Allemagne, il a eu la consciencieuse délicatesse de désigner comme son coopérateur méritant M. Lucke, son chef d'atelier. M. Lucke a eu une médaille de bronze.

MM. Schalgen, de Dusseldorf, et Gronau, de Berlin, ont obtenu pour leurs impressions une médaille de bronze.

MM. Gerold et Schulze pour leurs lithographies.

Bavière. — Nous nous attendions à trouver l'imprimerie bavaroise largement et richement représentée, notre attente a été trompée. Nous avons trouvé peu de livres, mais, par contre, beaucoup de lithographies, de chromo-lithographies et des tableaux imprimés en couleur à l'huile.

Cependant le jury a remarqué, et avec raison, les livres de liturgie de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Pastet, de Ratisbonne (médaille d'argent), et de M. Kosel, de Kempten (médaille de bronze). MM. Braun et Schneider ont eu également une médaille de bronze pour leurs ouvrages illustrés : les vignettes avaient une grande netteté.

BELGIQUE. — La notice consacrée dans le catalogue spécial belge aux produits d'imprimerie et de librairie, commence par un aveu qui ne manque pas de franchise : « L'imprimerie typographique a pris un grand développement en Belgique. Ce qui a contribué à favoriser son essor, ce sont les *contrefaçons d'éditions françaises* qui alimentèrent nos presses de 1818 à 1852. La convention conclue avec la France, le 22 août 1852, à la suite de longues négociations pour la garantie réciproque des droits des écrivains et des artistes, fut suivie d'un temps d'arrêt dans le développement de cette branche de travail. L'atteinte qu'elle reçut ne fut que passagère, et l'industrie typographique n'a pas cessé de progresser dans notre pays durant le cours des dix dernières années. »

Si cette dernière affirmation est exacte, et rien ne nous autorise à la révoquer en doute, c'est la consommation intérieure, c'est-à-dire l'achat des livres en Belgique même, qui a dû prendre un grand développement, car les nombres fournis pour le commerce des livres indiquent une progression constante pour les importations de livres étrangers en Belgique, en même temps qu'une diminution encore bien plus sensible dans les exportations de livres de ce pays.

Le tableau suivant du commerce des livres imprimés en Belgique à diverses époques est, à cet égard, très-significatif.

ANNÉES.	IMPORTATIONS.		EXPORTATIONS.	
	QUANTITÉS.	VALEURS.	QUANTITÉS.	VALEURS.
	kil.	fr.	kil.	fr.
1851.....	161,494	1,029,348	366,502	2,270,966
1855.....	220,033	1,387,177	320,473	2,006,978
1860.....	352,086	2,195,826	294,954	1,846,172
1861.....	360,042	2,187,696	212,352	1,320,493
1862.....	365,255	2,219,583	245,507	1,541,848
1863.....	392,356	2,280,492	217,151	1,340,791
1864.....	459,388	2.786,138	158,344	981,083
1865.....	»	3,183,440	»	914,261

De l'examen comparatif de ces chiffres, il résulte qu'en 15 ans, de 1851 à 1865, la valeur représentée par les livres importés en Belgique a augmenté de 1,029,348 fr. à 3,183,440 fr., c'est-à-dire qu'elle a triplé, tandis que les exportations, pendant la même période, sont descendues de 2,270,960 fr. à 914,261 fr., c'est-à-dire de trois cinquièmes. Ce double courant aurait dû logiquement produire une crise dans la typographie belge, mais la notice fait remarquer que « la convention a eu ce résultat favorable de diriger l'activité des imprimeries belges vers les éditions originales et les ouvrages du domaine public. Des livres belges, sans aucune restriction, sont sortis des presses des éditeurs de la Belgique. » Comme nous le disions, c'est donc le marché intérieur qui a dû prendre un grand développement, et la Belgique peut s'enorgueillir de ce résultat qui prouve que le goût de la lecture s'y propage dans de très-grandes proportions.

Quant aux relations entre la France et la Belgique, nous remarquerons que la France, qui est cependant son principal débouché, n'a reçu de la Belgique, en 1865, que pour 446,033 francs de livres, tandis qu'elle a exporté en Belgique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des ouvrages représentant une valeur de 2,731,115 fr., ce qui réduit à 432,325 fr. les importations des autres pays ; quant à l'Angleterre, la comparaison donne un résultat diamétralement opposé : elle a reçu de la Belgique pour 20,000 fr. de livres de plus qu'elle ne lui en a vendu.

Un dernier détail de statistique qui a bien son importance : le nombre de personnes qui vivent en Belgique de l'industrie typographique ou des professions qui s'y rattachent étroitement (libraires, correcteurs, compositeurs, fondeurs, mécaniciens, pressiers, relieurs, brocheurs) n'est pas moins de 5000 à 6000, et on peut évaluer à plus de 500 le nombre de presses répandues dans le pays. Bruxelles seule en compte près de 250, dont 75 presses mécaniques.

Une fois pour toutes, nous dirons que la généralité des exposants de la classe 6 paraît avoir pris l'engagement d'honneur de cacher avec un soin jaloux ses produits aux visiteurs. Les exposants belges ont tenu religieusement parole ; c'est à peine si de temps à autre une montre s'ouvre discrètement, et il faut se hâter pour avoir le droit de jeter à l'intérieur un regard furtif. A la rigueur, on peut voir, mais toucher, jamais. Dans de pareilles conditions, il est difficile de rendre compte de la beauté de l'impression, du choix des caractères, de la correction des textes. Citons une exception : on nous a libéralement montré l'exposition de M. Dessain, le Mame de la Belgique. Si nous ne connaissons pas M. Dessain, nous connaissons les livres qu'il édite, car il n'a eu qu'à suivre les traditions que lui a léguées M. Hanicq, le célèbre imprimeur de Malines, qui montrait avec fierté son brevet de *typographe du pape*. Énumérer les livres de liturgie qui sont sortis des immenses ateliers de M. Hanicq et de son successeur serait impossible. Pour nous borner à l'exposition, nous y avons vu des spécimens de la collection des livres de liturgie imprimés en rouge et noir, et comprenant 9 éditions du Missel romain, 11 éditions du Bréviaire, 6 Bréviaires de divers ordres religieux, 8 Heures diurnes, plusieurs grands livres pour les cérémonies pontificales, tous les livres de chant d'église. Le Missel grand in-folio, de 1866, contient 7 grandes et magnifiques planches sur acier, dont la composition, le dessin et la gravure ont été faits pour ce Missel. Pour adapter ces livres aux besoins de toutes les églises catholiques du monde, les offices propres des divers pays et des divers ordres ont été imprimés dans tous les formats. Nous en avons vu 216 pour les Bréviaires, autant pour les Missels et autant pour les Heures diurnes, soit plus de 600 suppléments, dont quelques-uns forment de forts volumes. Ces suppléments, on le conçoit, ont exigé de grandes recherches et un capital important, mais aussi les livres de M. Dessain sont employés dans les pays les plus lointains. M. Dessain, qui avait aussi exposé une série de livres de prières en diverses langues (86 numéros), n'a eu qu'une médaille d'argent. Il pouvait sans doute espérer mieux.

M. Annoot Braekman, de Gand, a eu une médaille d'argent qui, assurément, était bien méritée. Il avait exposé 38 volumes de la collection du Bibliophile flamand, imprimés sur papier vergé. Il y a dans cette collection de véritables chefs-d'œuvre. Nous mentionnerons un des livres de cette collection que nous avions déjà eu l'occasion de voir : c'est la reproduction d'un manuscrit du quinzième siècle (*Tableau de la vie du Christ*), grand in-4°, dont une partie est imprimée et dont l'autre se compose de splendides chromo-lithographies. Nous connaissions aussi déjà les *Annales de l'imprimerie elzévirienne* qui, du reste, sont fort recherchées par les bibliophiles français.

Le jury a distingué aussi, en leur accordant une médaille d'argent, MM. Muquart, de Bruxelles, et M. van Dorselaere, de Gand : l'exposition du premier était remarquable par l'illustration des ouvrages, la plupart en allemand, et qui sont recherchés de l'autre côté du Rhin ; le second avait surtout exposé des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

imitations d'impressions anciennes et quelques spécimens remarquables par la difficulté vaincue au point de vue de la composition typographique.

En résumé, la Belgique, qui s'efforce surtout de produire au meilleur marché possible, a été assez heureuse dans son exposition : elle a étonné ceux qui affectent de croire que ses imprimeurs n'ont d'autre ambition que de faire concurrence aux autres nations par les bas prix de leurs produits. Si les Anglais ont dit « si nous le voulions, nous ferions aussi bien que la France, » les Belges ont été plus affirmatifs en montrant quelques ouvrages qui n'ont rien à envier aux meilleures impressions françaises. Il devait en être ainsi dans un pays qui a compté tant d'imprimeurs célèbres, et où la tradition du vrai beau s'est conservée à travers les âges. Seulement, ce qui a manqué aux exposants belges, c'est un certain *savoir-faire*. Comme nous l'avons dit, la plupart des montres étaient hermétiquement fermées, et au moment de la visite du jury, un grand nombre d'exposants n'étaient pas représentés : sans cela, il est probable que les médailles eussent été accordées avec moins de parcimonie.

Autriche. — Lorsque l'Imprimerie impériale de Vienne envoya des spécimens de ses nombreuses productions à l'Exposition de Paris de 1855, la vue de ces chefs-d'œuvre provoqua plus que de l'étonnement ; ce fut une véritable révélation. L'Imprimerie impériale de France croyait ne pas avoir de rivale ; elle dut reconnaître que, sous plusieurs rapports, elle n'occupait pas le premier rang. Pour rester dans le vrai, il faut ajouter que l'établissement de Vienne est resté depuis à peu près stationnaire. Les circonstances difficiles que vient de traverser l'Autriche expliquent peut-être le peu d'importance qu'elle a attaché à l'exposition du grand établissement qui lui donne cependant un orgueil légitime. Ses produits consistaient en ouvrages imprimés en langues orientales, en livres d'histoire, de beaux-arts, de sciences naturelles, de théologie, en chromolithographies, en dessins artistiques imprimés sur clichés, en cartes, etc. L'Imprimerie impériale de Vienne était naturellement placée hors concours.

Voici quelques données statistiques sur l'imprimerie en Autriche :

On compte dans l'Empire 360 imprimeries typographiques, 206 imprimeries lithographiques, 50 établissements pour l'impression sur cuivre. Vienne, Prague et Pesth ont plusieurs presses mécaniques. Il y existe 544 librairies. Le nombre des journaux est considérable (362, dont 134 politiques). Relativement, le nombre d'ouvrages imprimés en Autriche et en langue allemande est moins important ; ainsi, en 1865, les exportations en livres imprimés n'ont été que de 713,500 kilogrammes, tandis que les importations se sont élevées à 1,136,200 kilogrammes, provenant pour la majeure partie de Leipsig, de Berlin et de Stuttgard.

Six médailles d'argent ont été attribuées aux exposants de la classe 6 : M. Braumuller, libraire de l'Université de Vienne, a contribué pour une large part au développement des études scientifiques, en Autriche, par ses nombreuses publications ; M. Gerold s'occupe aussi de livres de sciences ; MM. Engel et fils avaient des spécimens d'impressions fort diverses et toutes remarquables. Ils réunissent dans leurs ateliers la typographie, la lithographie, la zincographie, la stéréotypie et la galvanoplastie. M. Emich brillait par ses ouvrages illustrés et ses impressions en couleur ; M. Zamarski, par ses tableaux typographiques et les magnifiques impressions de son album de vignettes ; enfin, M. Peterno, par ses chromo et ses impressions en taille-douce.

Nous ne mentionnerons que pour mémoire diverses médailles de bronze s'appliquant plutôt à la lithographie qu'à l'imprimerie proprement dite ; mais nous demandons pourquoi M. Neuman, dont les lithographies et les chromo-litho-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

graphies sont depuis longtemps connues et remarquées à Paris (nous citerons, par exemple, ses *Quatre Saisons*) n'a eu qu'une médaille de bronze?

HOLLANDE. — Nous n'avons pas encore parlé des Pays-Bas. Hélas ! le pays qui revendique pour Laurent Coster l'invention de l'imprimerie, et qui a compté les Elzevier parmi ses illustrations typographiques, brillait, pour ainsi dire, par son absence au Champ de Mars. Nous avons cependant remarqué les livres en langues orientales de Brill, à Leyde, les livres classiques d'Enschedé et des spécimens de typographie et de caractères javanais.

PÉNINSULE IBÉRIQUE. L'exposition portugaise a été une révélation. L'imprimerie nationale a eu la première des médailles d'or. Si elle continue dans la voie de progrès où a su l'engager une direction habile, elle nous réserve sans doute de nouvelles surprises pour la prochaine lutte internationale. Remarquons que le Portugal n'avait que quatre exposants, y compris cette imprimerie hors ligne, et qu'outre cette médaille d'or, il s'est vu attribuer une médaille d'argent pour les beaux spécimens typographiques de MM. Lallemant frères dont on a beaucoup remarqué les impressions sur soie et en couleurs.

Quant à l'Espagne régie par des institutions qui sont loin d'être favorables aux progrès de l'imprimerie [1], elle semble avoir oublié les glorieuses traditions des Brocario, des Bordazar, des Sancha, des Ibarra dont le *Salluste* en espagnol est considéré à bon droit comme un chef-d'œuvre. Disons cependant que le jury a eu raison de décerner une médaille d'argent aux spécimens de typographie de M. Rivadenegra à Madrid, et qu'on ne l'eût pas accusé de prodigalité s'il avait décerné une médaille de bronze à l'édition monumentale du Don Quichotte exposée par MM. Gorsch et Casadeval de Barcelone.

GRÈCE. Nous nous rappelons qu'en 1851, à l'Exposition de Londres, la Grèce s'était bornée à affirmer ses espérances en plantant dans le compartiment qui lui était réservé deux bannières aux couleurs nationales portant l'une :

Θαρσεῖν χρὴ..... τάχ' αὖριον ἔσσεὴ ἄμεινον (Théocrite).

Ayons courage..... Un meilleur avenir s'approche.

l'autre :

Ζῆλοι δέ τε γείτονα γείτων
Εἰς ἄφενον σπεύδοντ' Ἀγαθὴδ' ἔρις ἥδε βροτοῖσι (Hésiode).

La rivalité d'artistes voulant concourir au bien-être général est la lutte la plus favorable pour l'humanité.

Malgré les vicissitudes auxquelles le jeune royaume a été en proie, les espérances commencent à devenir des réalités [2], et nous regrettons que le jury ait cru qu'une seule médaille de bronze suffisait pour récompenser ces efforts généreux. Cette médaille a été décernée à M. Philadelphes pour ses livres et ses journaux en grec moderne. Pourquoi les Archives de la régénération hellénique, l'Histoire des beaux-arts de l'antiquité, les Vies de Plutarque, en grec ancien, de M. Koromelas, n'ont-elles pas été l'objet d'une semblable distinction?

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE. Exposition médiocre comme ensemble. Les éditeurs et

1. Ces lignes étaient écrites lorsque ont eu lieu les événements qui semblent promettre à l'Espagne une ère plus favorable aux arts libéraux et en particulier à l'imprimerie.

2. Athènes possède aujourd'hui 60 imprimeries. Il y paraît environ 100 journaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les imprimeurs semblent s'être entendus pour s'abstenir. Faut-il attribuer cette abstention à la crainte de devoir avouer que les ouvrages les plus remarquables sont des réimpressions, designation euphémique, sous laquelle les éditeurs américains qui n'ont pas à craindre l'application des lois sur la propriété littéraire, publient des contrefaçons des meilleurs ouvrages anglais et français? Il paraît, du reste, que les États-Unis vont modifier leur législation et que, dans un avenir prochain, la propriété littéraire y sera respectée comme dans les autres pays civilisés.

Nous aurions cependant voulu voir décerner une récompense aux livres et instruments à l'usage des aveugles. Nous avons surtout admiré une Encyclopédie de 40 volumes en caractères en relief.

Voici, pour terminer, la récapitulation exacte des diverses récompenses décernées par le jury dans la classe 6 :

GRAND PRIX : 1, France (Mame, de Tours).

	MÉDAILLES.			MENTIONS HONORABLES.
	Or.	Argent.	Bronze.	
France	7	48	51	17
Colonies françaises	»	»	»	4
Portugal	1	1	»	1
Grande-Bretagne	1	10	7	»
Saxe	1	2	»	»
Colonies anglaises	»	»	6	»
Inde anglaise	»	»	4	»
Pays-Bas	»	»	3	»
Belgique	»	4	9	»
Autriche	»	6	5	»
Bavière	»	1	4	»
Prusse	»	5	5	1
Brunswick	»	1	»	1
Wurtemberg	»	3	5	1
Russie	»	»	5	»
Danemarck	»	»	1	»
Hesse	»	1	1	»
Suisse	»	»	1	»
Espagne	»	1	»	»
Italie	»	1	7	»
Grèce	»	»	1	»
Égypte	»	1	»	»
États-Unis	»	»	3	»
Hawaï	»	»	1	»
	10	85	119	25

COOPÉRATEURS. 10 Médailles d'argent, toutes attribuées à la France.

	MÉDAILLES DE BRONZE.	MENTIONS HONORABLES.
France	30	37
Belgique	1	2
Grande-Bretagne	1	3
Prusse	1	»
Espagne	1	»
	34	42

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

LE MATÉRIEL.

Composition. — Tirage.

Nous avons dit, dans notre premier article, que l'art typographique en ce qui concerne la composition, était à peu près resté stationnaire. Il serait injuste cependant de nier la réalisation de quelques améliorations de détail. Ainsi, au lieu de serrer les formes avec des coins on emploie aujourd'hui, dans quelques imprimeries le serrage à vis : avec le premier système il suffit qu'un coin n'ait pas été assez fortement chassé dans l'intervalle séparant le *biseau*, qui maintient la composition, du *châssis* qui contient toute la *forme*, pour qu'un accident se produise au moment où on lève cette forme pour la porter sur la presse. Quelques lettres se détachent, un trou se forme, et en quelques secondes toute la partie de la composition placée du côté qui n'a pas été suffisamment serrée *tombe en pâte*, c'est-à-dire que toutes les lettres tombent pêle mêle et qu'il faut recommencer la composition [1]. Le serrage à vis prévient ce genre d'accident. Le serrage à vis s'applique aussi aux *galées*, espèce de planches sur lesquelles le compositeur place ses lignes à mesure qu'il a rempli son composteur. Quand le nombre de lignes est assez considérable pour former une *page* ou un *paquet*, il place un lingot sur le tout et n'a qu'à serrer la vis de la galée. Ajoutons cependant que, par esprit de routine, on s'obstine dans beaucoup d'imprimeries à employer des galées ordinaires sur lesquelles le compositeur assujettit son paquet en le liant fortement par trois tours de ficelle. Tous les jours il arrive que la ficelle se rompt sous l'effort fait pour la tendre, et emporte les lettres qui se trouvent au bout des dernières lignes du paquet, ou même des lignes tout entières. Peu importe ! le compositeur qui a appris qu'il fallait lier ses paquets avec de la ficelle croirait commettre une infraction aux règles du métier s'il se servait d'une galée perfectionnée.

Un grand progrès réalisé consiste dans le parti qu'on a su tirer des *filets* qui, imprimés tels qu'ils venaient du fondeur, ne représentaient d'abord que des lignes noires plus ou moins épaisses, simples ou doubles.

Filet maigre. Filet double maigre. Filet gras. Filet de cadre.

Avec ces éléments et avec les *accolades* de grandeurs et d'épaisseurs différentes un compositeur habile (ou *tableautier*) fait les *tableaux* les plus compliqués, et un compositeur-artiste (tel que M. Monpied) produit des dessins au trait imprimés sur des planches qu'il a exécutées en se servant exclusivement de filets typo-

1. On nous communique une note d'où il résulte qu'un perfectionnement analogue a été introduit depuis quelques années déjà dans l'imprimerie du *Moniteur belge*. M. Th. Mackintosh, chef de cette imprimerie, a inventé un *serre-page* qui, comme l'indique son nom, serre la page, et cela d'une manière si juste et si forte qu'aucune lettre ne peut se déranger pendant les mouvements qu'on fait faire aux pages en les glissant sur le marbre. A l'aide du serre-page et dans des cas d'urgence, on peut même imprimer de suite, sans châssis, ni coins, ni biseaux, un certain nombre d'exemplaires.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

graphiques contournés et fixés les uns près des autres sans soudure, ce qui lui vaut une médaille de bronze (1849); ou un autre compositeur-artiste (M. Moulinet) produit des chefs-d'œuvre tels que le portrait de Gutenberg et la Psyché qui ont valu à leur auteur une médaille d'argent.

Nous ne citerons ici que pour mémoire la musique exécutée typographiquement. Nous nous réservons d'entrer dans quelques détails sur ce procédé qui existait déjà en 1490, mais qui a reçu, surtout dans ces derniers temps de notables perfectionnements, dont nous parlerons à l'article FONDERIE en caractères, car c'est surtout à l'art du fondeur que sont dus ces progrès.

Abordons maintenant la question capitale, celle qui s'impose en quelque sorte forcément à l'époque actuelle, la composition mécanique. Nous ne voulons pas affirmer, — bien que nous ayons de fortes raisons de le croire, — que le problème soit industriellement résolu : mais, dans tous les cas, les essais faits ont donné de tels résultats, que ceux qui nient obstinément la possibilité de la composition à l'aide d'une machine acceptent sans s'en douter le rôle de ceux qui nieraient la possibilité d'événements dont la réalisation contrarierait leurs intérêts du moment. Et d'abord la composition mécanique menace-t-elle l'existence des typographes? Des exemples puisés dans l'histoire industrielle contemporaine permettent d'affirmer le contraire. A l'époque de la création des chemins de fer, on disait que les chevaux allaient devenir des non-valeurs ; le prix des chevaux a doublé. En Angleterre une grève prolongée des tisserands fait inventer la machine à tisser mécanique; aujourd'hui les salaires des tisserands sont plus élevés qu'avant l'introduction du tissage mécanique. A Paris, une grève de charpentiers fait naître l'idée de substituer dans la construction des bâtiments des poutres en fer aux poutres en bois; à l'heure qu'il est la journée du charpentier a augmenté dans la proportion de 5 à 7, c'est-à-dire qu'il y a eu une hausse de 45 pour 100. Enfin, dans l'imprimerie même l'introduction des presses mécaniques, qui au début a donné lieu à tant de désordres, n'a-t-elle pas contribué au développement de l'industrie? Et si nous remontons à l'origine même de l'art typographique, les 2,000 ou 3,000 copistes (*librarii*), qui vivaient de la reproduction graphique manuscrite, n'ont-ils pas été remplacés par des ouvriers, qui aujourd'hui se nomment légion? Bannissons donc toute crainte : la consommation s'étend en proportion géométrique de la facilité de la production, et le temps n'est pas loin où, grâce à l'abolition qu'on espère prochaine des brevets, la plus petite localité sera dotée d'une imprimerie.

Ceci dit, examinons au point de vue technique la machine à composer. Ce n'est pas d'aujourd'hui que de bons esprits se sont préoccupés, en partant de points de vue différents, de la possibilité d'accélérer la composition. Nous avons déjà indiqué l'emploi, dès 1774, par M. Barletti de Saint-Paul, de caractères syllabiques, tentative renouvelée en 1792 par un imprimeur, Hoffmann de Strasbourg, et de nos jours par M. Marcellin-Legrand et M. Edouard Joostens. Ce procédé consiste, on le sait, à faire fondre ensemble les lettres formant des syllabes qui se reproduisent le plus souvent telles que *ment*, *tion*, *able*, etc., de manière que le compositeur, au lieu de prendre les lettres une à une, peut en placer trois ou quatre à la fois en même temps dans son composteur. Ce procédé, qui a été abandonné en France, paraît être employé avec succès dans la grande imprimerie de M. Tobitt, à New-York.

Mais le *desideratum* est la composition mécanique, dont la première idée semble remonter à l'imprimeur Ballanche qui l'appliqua, mais sans succès, à Lyon, vers 1825. Bientôt suivirent les tentatives de MM. Young et Delcambre (1844); de M. Gobert (la *composeuse*); de M. Sorensen (exposition de Londres de 1853); de M. Mitchel et de M. Young (1862).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le point de départ de toutes ces machines est une imitation du clavier d'un piano ; le compositeur met le doigt sur une touche qui correspond à une lettre et qui la fait descendre dans un composteur. Ce mécanisme paraît fort simple, mais il se présente des difficultés de diverses natures ; les lettres sont d'épaisseur et par suite de poids différents. Si le compositeur doit reproduire le mot *aimer*, il est évident que, d'après les lois de la pesanteur, la lettre *m* descendra avec plus de rapidité que la lettre *i* ; et bien que la touche qui correspond à l'*i* ait été frappée avant celle de l'*m*, cette dernière pourra atteindre pendant sa descente la lette *i*, et produire ainsi un engorgement qui aura pour suite l'arrêt de la machine et une perte de temps. Puis viennent les difficultés d'un autre genre : les lettres se sont succédé dans le grand composteur, les mots ont suivi les mots, mais il s'agit de répartir ces mots en lignes et de faire la justification d'après la longueur des lignes de l'ouvrage que l'on compose. Puis a surgi une autre question, celle de la distribution des caractères, c'est-à-dire de leur placement pour qu'on puisse recommencer la composition. Mais ne sont-ce pas justement les difficultés qui stimulent le génie de l'inventeur, et y a-t-il en mécanique une seule invention qui soit sortie complète des mains de son auteur comme la Minerve antique armée de pied en cap de la tête de Jupiter? Aussi, quoi qu'on en dise, les difficultés qu'on représentait comme insurmontables ont disparu, et par exemple les machines à composer et à distribuer de Sorenson ont servi pendant deux ans à faire à Copenhague le journal *le Fœdreland*.

Nous savons l'objection — toujours la même — que nous fera la routine. Pourquoi si ces machines donnaient de bons résultats, l'usage ne s'en est-il pas généralisé ? Nous répondrons d'abord à notre tour par une question. Pourquoi n'est-ce que depuis un temps très-rapproché que nous possédons la navigation à vapeur? parce que Papin qui remontait vers 1690 une rivière dans un bateau qui s'avançait sous l'impulsion de la machine à vapeur, dont il était l'inventeur, vit mettre son bateau en pièces par des mariniers qui craignaient la concurrence qu'allait leur faire le nouveau moyen de transport [1]. Ajoutons un détail qui se rattache plus intimement à notre sujet : pourquoi la composition syllabaire qui, nous venons de le dire, est employée à New-York, a-t-elle été abandonnée en France ? parce que M. Joostens, qui avait fait tant de sacrifices pour perfectionner sa casse était en butte à des tracasseries incessantes de la part de ses compagnons d'atelier, et que plus d'une fois, — il nous a fait la confidence de ses douleurs, — il a trouvé le matin mélangés dans ses nombreux cassetins les caractères qu'il avait arrangés avec tant de soin et d'amour la veille au soir. Les taquineries d'atelier eurent raison de son énergie.

Revenons à la machine à composer, en mettant sous les yeux de nos lecteurs celle de M. Mitchell, qui, on le voit, offre tout à fait l'aspect d'un piano à queue (fig. 7). Notons incidemment que si M. Sorensen s'était vu attribuer la médaille d'or à l'Exposition universelle de 1855, M. Mitchell s'est vu décerner une *prize medal* en 1862 à Londres, et qu'à l'Exposition de 1867, au Champ de Mars, le jury international a accordé une médaille de bronze à la machine à composer et

1. M. Bardin, dans son étude sur l'industrie des vêtements, nous apprend un fait analogue en ce qui concerne les machines à coudre, dont l'invention appartient à un Français. Quatre-vingts de ces machines fonctionnaient, dès 1832, rue de Sèvres. Les couturières, croyant leur industrie menacée, provoquèrent un mouvement populaire : en quelques instants toutes les machines à coudre furent mises en pièces.

Depuis, la machine à coudre nous est revenue d'Amérique, et le mérite de l'invention a été attribué à Élias Howe. Aujourd'hui, Paris seul emploie plus de six mille couseuses mécaniques, et les couturières sont loin de s'en plaindre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à la machine à distribuer de M. Delcambre-Cruys, et nous le demandons, les membres de ces trois jurys auraient-ils été d'accord pour récompenser à seize années de distance des machines qui ne seraient que des joujoux plus ou moins ingénieux, mais ne devant avoir aucune utilité pratique?

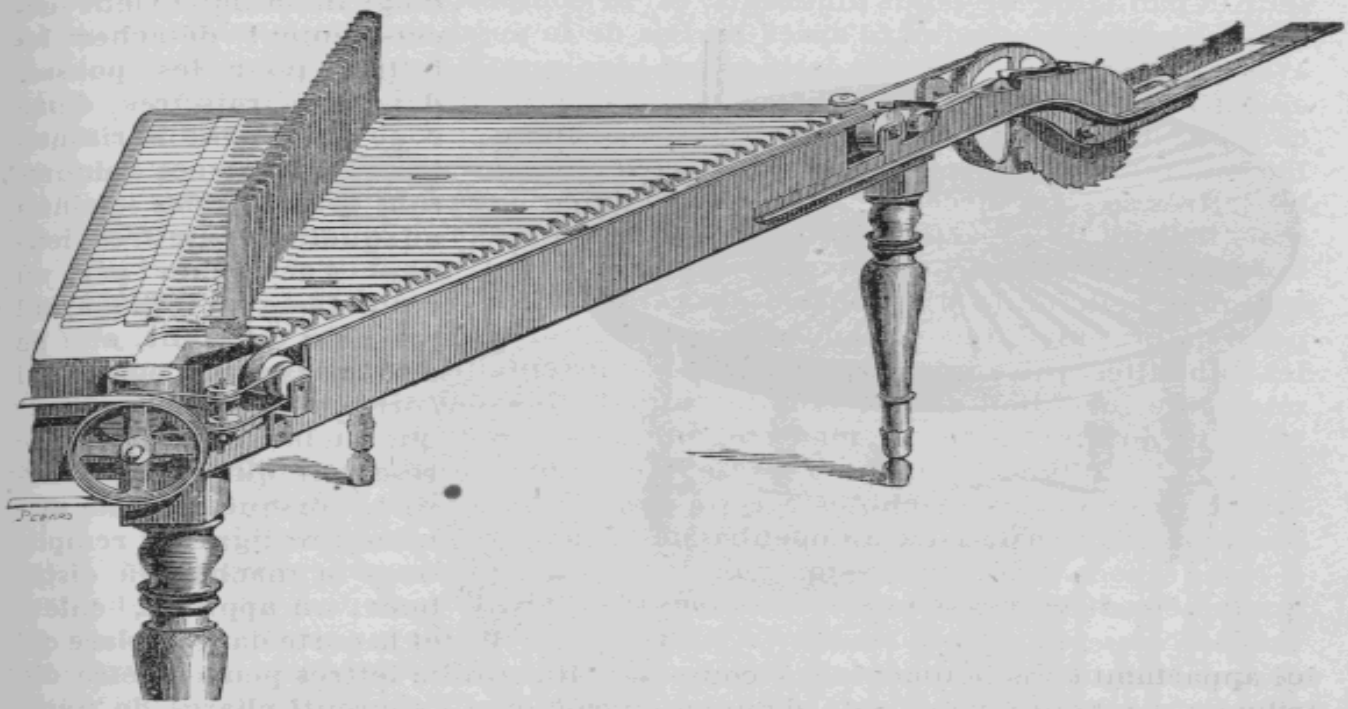


Fig. 7. — Machine à composer de Mitchell.

Le clavier de la machine à composer de M. Mitchell se compose de 39 touches, qui correspondent à 39 lettres ou caractères placés dans un composteur vertical à rainures. M. Mitchell a éludé la difficulté résultant de la pesanteur différente des lettres. Ses caractères viennent se placer sur un ruban sans fin mis en mouvement par une courroie de transmission, d'où ils sont conduits à un autre ruban, celui-ci transversal, et formant l'hypoténuse du triangle qui constitue l'ensemble de la machine. Chaque lettre arrivée à destination pousse en avant celle qui précède, et elles viennent ainsi toutes se placer en ordre sur une roue à rochet à laquelle on a donné le nom de *setting wheel*, roue à composer. Cette roue place avec une grande rapidité les mots dans un composteur ayant environ 75 centimètres de longueur, où un compositeur vient les prendre pour en former des lignes de la justification voulue.

Le principe essentiel de cette machine consiste dans la combinaison et l'arrangement des rubans, marchant à la vitesse voulue pour que les types placés à des distances différentes de la roue viennent y aboutir dans l'ordre où les touches ont été frappées.

Une notice que nous avons sous les yeux contient les évaluations suivantes : le compositeur pourrait faire partir 6 lettres par seconde ce qui représenterait 21,600 caractères par heure ; mais comme les doigts de l'homme ne peuvent atteindre une semblable rapidité, et qu'il faut tenir compte du temps nécessaire pour la justification et la correction, on peut évaluer à 24 ou 25,000 lettres par jour le travail moyen d'un compositeur d'une habileté ordinaire, ce qui est environ le double du travail effectué par un compositeur travaillant à la casse en usage. Deux compositeurs pouvant travailler à chaque machine, la production

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

journalière d'une semblable machine à composer serait de 50,000 lettres par jour.

La machine à distribuer de Mitchell (fig. 8) est horizontale et de forme circulaire. Les lignes à distribuer sont placées dans une espèce de couloir, d'où un doigt métallique vient successivement détacher les lettres pour les pousser dans les rainures d'une roue qui tourne horizontalement. Dans ces rainures sont placées des pointes auxquelles les lettres viennent s'accrocher par un cran. Chaque lettre ayant un cran différent, elle ne s'attache qu'à la pointe qui correspond à ce cran et qui va la déposer dans le réservoir qui lui est destiné. Lorsque de cette manière une ligne est remplie dans la machine à distribuer, un apprenti l'enlève et la porte dans la place qui lui appartient dans la machine à composer. Huit mille lettres peuvent être distribuées par heure sans l'aide d'aucun ouvrier que l'apprenti chargé de transporter les lignes remplies par la machine.

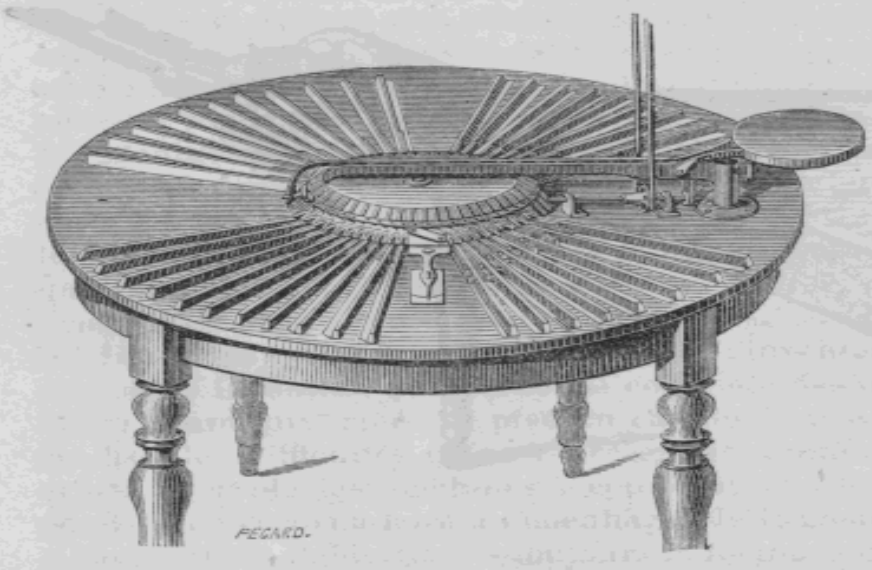


Fig. 8. — Machine à distribuer de Mitchell.

La machine Young représente plutôt un piano droit (fig. 9, page suivante). Les touches du clavier font sortir les types de leur réservoir (chaque type a un réservoir séparé) et un levier pousse les caractères dans une conduite suivant un plan incliné. On évalue, et ici il y a sans doute de l'exagération, à douze mille le nombre de caractères qui peuvent être levés par heure. Il suffit d'un apprenti pour entretenir de lettres les machines à composer.

Un appareil à justifier est le complément de cette machine et remplace le composteur ordinaire. L'ouvrier qui justifie place une des longues lignes dans l'appareil, lui donne la longueur nécessaire, la justifie, et puis à l'aide d'une manivelle la fait passer sur la galée, fesant ainsi place à la ligne suivante. On évalue de six à huit mille le nombre de caractères qui, par ce moyen, seraient justifiés en une heure.

La machine à distribuer de Young (fig. 10, page 156) exécute une double opération. Tous les caractères sont enlevés un à un d'un réservoir dans lequel ils ont été placés et vont glisser le long du plan incliné où un premier triage s'effectue. Les lettres les plus légères (celles qui, dans les machines à composer, occupent la place inférieure) descendent jusqu'au bas du plan incliné, tandis que les lettres pesantes sont d'abord retenues et puis poussées dans un réservoir spécial. Les lettres descendues jusqu'au bas sont poussées dans une espèce de tambour roulant où le triage s'effectue par un moyen analogue à celui que nous avons indiqué pour la machine à distribuer de Mitchell, c'est-à-dire que ce sont les crans placés à des hauteurs différentes des lettres qui servent à effectuer le triage en faisant glisser ces lettres dans leurs rainures respectives. Une opération analogue a lieu simultanément dans le réservoir spécial où les lettres pesantes ont été déposées, et l'on évalue à 15,000 le nombre de caractères que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette machine, qui n'exige que le travail de deux apprentis, peut fournir par heure tout en ordre à la machine à composer.

Seulement, comme le fait remarquer l'auteur de la notice à laquelle nous avons emprunté la description et les dessins de ces machines, les caractères ordi-

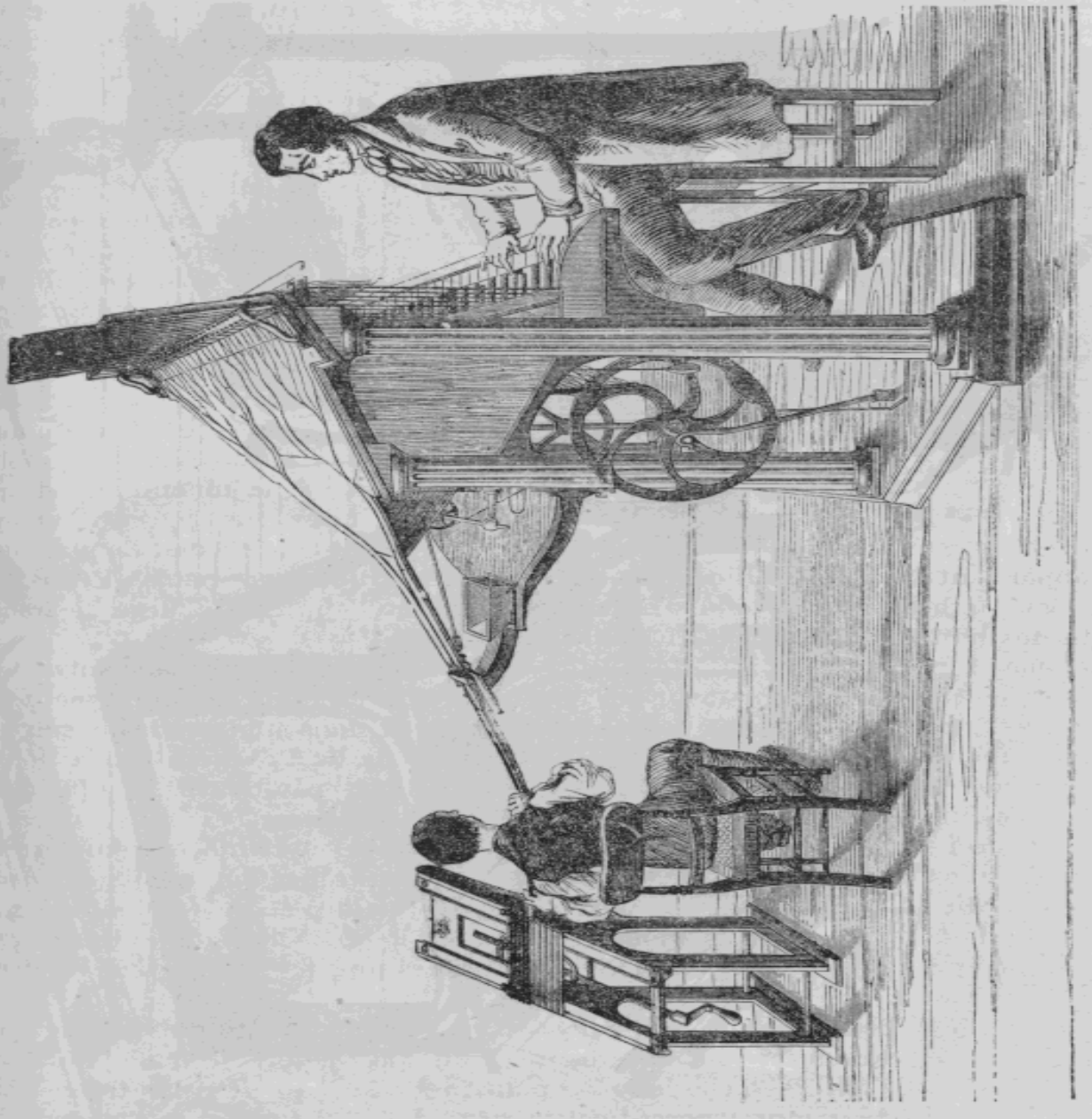


Fig. 9. — Machine à composer de Young.

naires peuvent être employés dans les machines à composer de Mitchell et de Young, tandis qu'il faut des caractères tout spéciaux avec des crans particuliers pour leurs machines à distribuer.

On nous fera sans doute remarquer qu'il est étrange que l'Angleterre et l'Amérique n'aient pas envoyé de machines à composer à l'Exposition. C'est étrange, en effet, car, sans parler de l'Amérique, les machines à composer sont beaucoup employées en Angleterre, et nous allons en donner des preuves que nous pouvons qualifier d'*officielles*.

Dans le catalogue de l'exposition anglaise, rédigé avec tant de soin, nous l'a-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vons déjà dit, nous trouvons le passage suivant dont les considérations se rapportent à la classe 6 (l'impression et les livres) :

« Les principales améliorations, qui depuis 1851 ont été observées par le jury de 1862 sont..... l'*emploi de machines à composer, d'appareils distributeurs*, etc. »

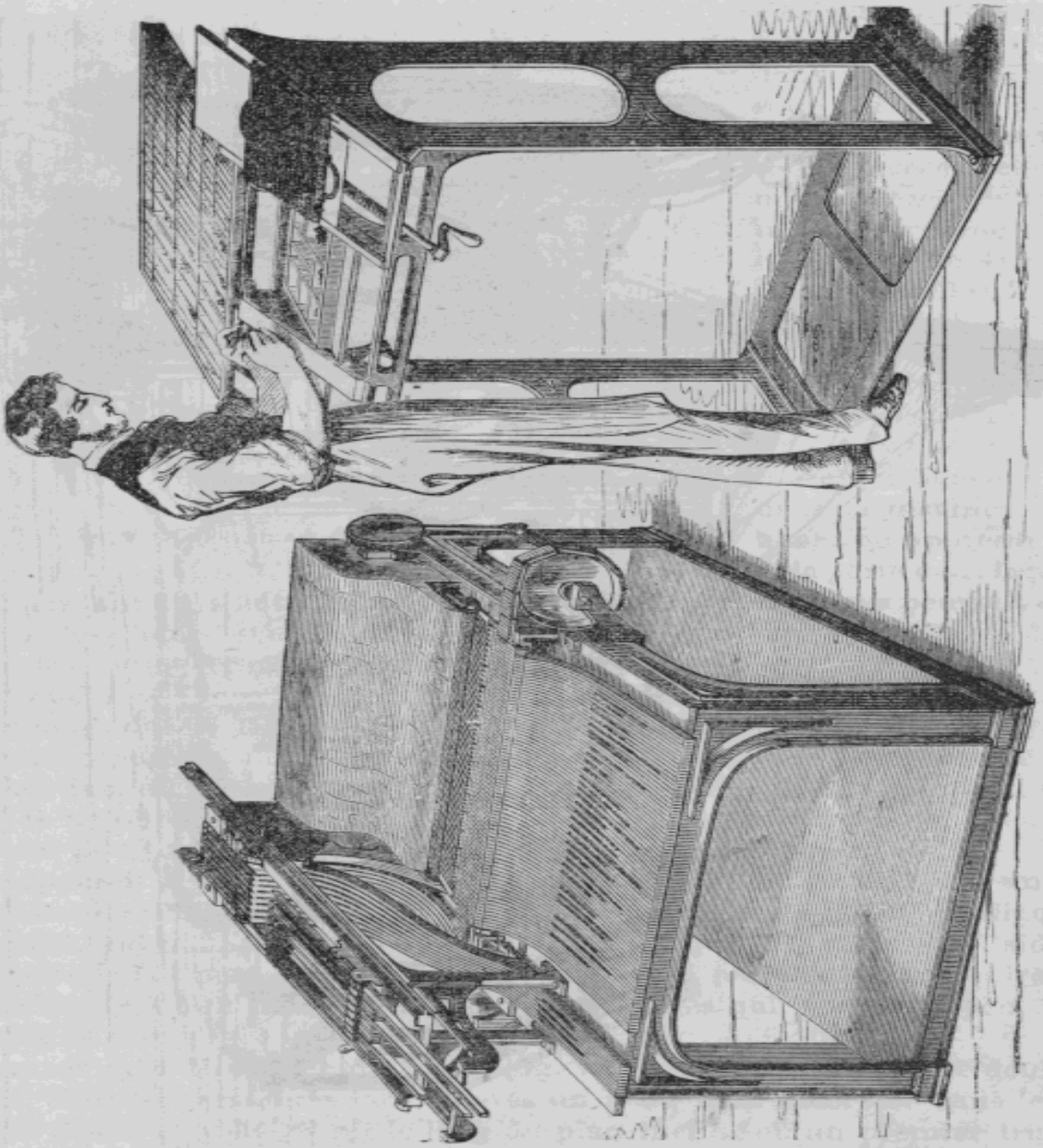


Fig. 10. — Machine à distribuer de Young.

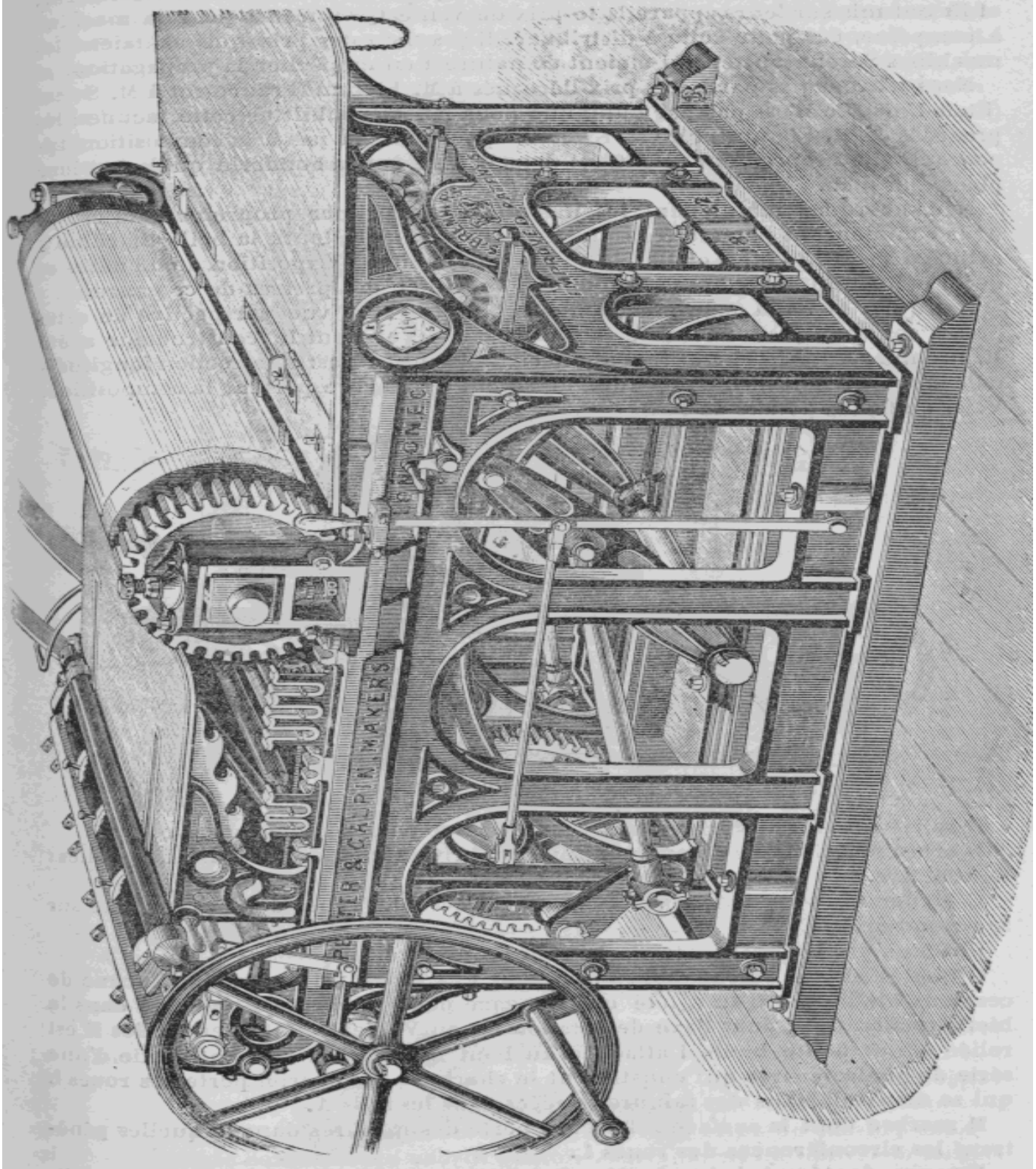
Et dans les considérations se rapportant à la classe 59 la même pensée est exprimée avec la même netteté :

« Le principal progrès qui ait été apporté, depuis 1851, dans les procédés se rattachant à l'impression, est l'introduction de la machine à fondre et *d'appareils à composer et à distribuer les caractères*. »

Nous puisons un autre genre de preuves dans le *Printers' Register*, le journal spécial de l'imprimerie anglaise. Nous y voyons les annonces répétées de trois constructeurs de machines à composer et à distribuer. Si ces machines ne devenaient pas dans le Royaume-Uni d'une vente courante, les constructeurs s'abs-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tiendraient sans doute de faire en pure perte de semblables annonces, alors qu'elles ne leur donneraient pas de résultats positifs.



D'ailleurs, peu d'Anglais avaient exposé dans la classe 59 ; il ne faut donc pas trop s'étonner de l'abstention de constructeurs de machines, qui jusqu'ici n'ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas rencontré en France un accueil bienveillant. MM. Delcambre-Cruys de Bruxelles qui, nous l'avons dit, ont obtenu à la dernière exposition une médaille de bronze, ne se sont pas laissé arrêter par de semblables considérations, et ils ont mis sur leurs appareils le prix de vente 1,500 francs pour la machine à composer, 600 pour celle à distribuer. Il y a loin des prix que coûtaient les machines Sorennsen, et qui étaient de nature à en empêcher la propagation.

Nous n'avons pas parlé des prix décernés à M. Flamm (France) et à M. Sweet (Etats-Unis). Ce n'est pas par oubli que nous laissons subsister cette lacune : les procédés de M. Flamm et de M. Sweet n'appartiennent pas à la composition typographique proprement dite. C'est dans l'étude sur la Fonderie qu'ils ont leur place marquée.

Nous abordons maintenant les machines à imprimer proprement dites, et nous commençons par mettre sous les yeux de nos lecteurs la belle machine à cylindre de MM. Peter et Galpin qui fonctionnait à l'Exposition de Londres et qui a été considérée comme le meilleur spécimen des presses de ce genre.

Notre fig. 11 de la page précédente représente une vue perspective de cette presse connue sous le nom de la *Belle Sauvage*, et dont le constructeur a été M. Bremner, imprimeur et ingénieur civil. La fig. 12 est une section longitudinale montrant la transmission du mouvement au marbre portant la composition. Voici quelques détails de la fig. 12.

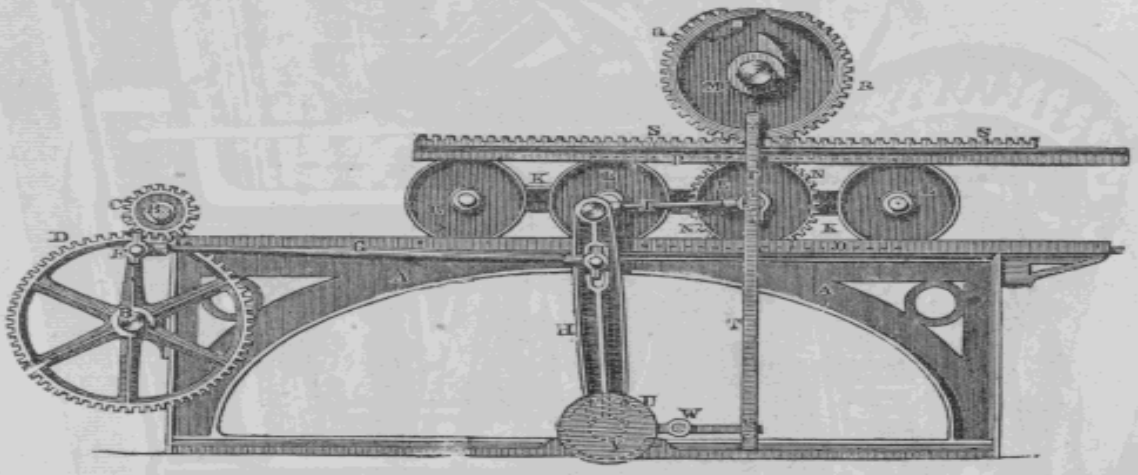


Fig. 12.

A rails boulonnés intérieurement au cadre et parallèlement à ses côtés.

B arbre principal de commande muni d'un volant et d'une paire de poulies : folle et fixe.

C pignon claveté sur l'arbre et engrenant avec des roues dentées D, fixées sur le second arbre E.

Chacune des roues D porte un bouton de manivelle F.

G Bielles reliées par un bout au bouton F. L'autre extrémité de chacune de ces deux bielles porte une tête qui s'engage dans une coulisse percée dans la bielle oscillante H, dont l'axe de rotation est en V ; l'extrémité des bielles H est reliée à une petite bielle I attachée au bout d'un arbre formant partie d'une série de quatre arbres qui constituent le chariot K. Ce chariot porte des roues L qui se meuvent dans des rainures tracées dans les rails A.

M marbre dont la surface inférieure porte des rainures dans lesquelles pénètrent les circonférences des roues L.

N roues dentées qui engrènent avec les crémaillères O et P du bâti et du marbre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M cylindre imprimant portant deux segments dentés R qui engrènent avec les crémaillères S.

T barre ou crampon d'où l'extrémité s'introduit entre les dents de la roue R, et qui sert à maintenir le cylindre M immobile pendant que la table revient sur elle-même pour recevoir une nouvelle feuille de papier. Ce crampon T reçoit son mouvement en temps voulu d'une came U calée à l'une des extrémités de l'axe d'oscillation des bielles H ; cette came agit sur un levier W qui fait mouvoir la barre T.

Les avantages que présente cette machine sont qu'elle occupe peu de place ; quoique légère, elle est solide et puissante ; elle peut être conduite à la main ou par une machine à vapeur.

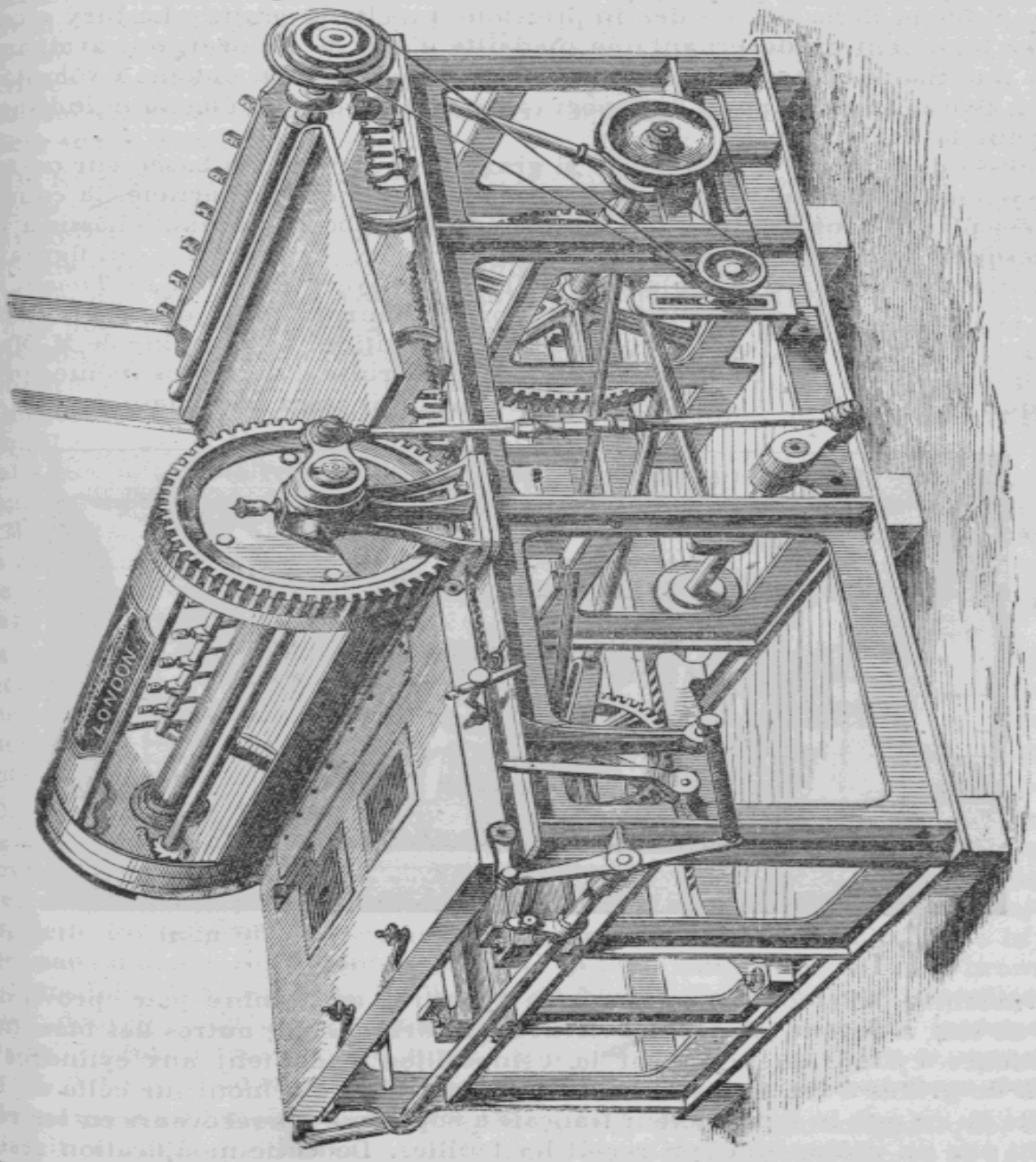


Fig. 13. — La presse à imprimer de Main.

La machine de Main que représente notre fig. 13, et qui a obtenu une mention honorable à Londres, occupe encore moins d'espace : elle donne 1,000 exem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plaires par heure pour le grand format et jusque 1,600 et 1,800 pour les petits formats.

Les presses de M. Normand et de M. Gavaux, destinées à l'impression rapide des journaux, donnent jusqu'à six et sept mille exemplaires par heure. Ce sont des machines à quatre ou à six cylindres, dites à réaction, parce qu'elles impriment les feuilles à l'aller et au retour, et, par la disposition des cordons qui font revenir les feuilles, donnent deux exemplaires imprimés sur papier double pour une seule composition. A l'Exposition il y avait un excellent spécimen de machine à réaction sortant des ateliers de M. Alauzet. « Cette machine, a dit un excellent juge qui a fait preuve d'impartialité, M. Küstner, correspondant du journal anglais le *Printers' Register*, est une merveille, sous le rapport du prix, de la rapidité et de la beauté des impressions qu'elle produit. » Le jury a confirmé ce jugement en décernant une médaille d'or à M. Alauzet, qui avait aussi exposé une machine typo-lithographique avec laquelle on obtient à volonté la pression fixe nécessaire pour la typographie et la pression élastique indispensable pour la lithographie.

La presse de Hoë, qui a joui d'une si grande réputation, est basée sur un tout autre système. Ici, nous l'avons déjà dit dans notre premier article, la composition est placée dans des fractions de cylindres à rebords formant châssis à vis, dans lesquels sont placées les colonnes des journaux. La machine qui figurait à l'Exposition de Londres, semblable à celles employées alors par le *Times* et le *Daily Telegraph* avait dix cylindres et pouvait fournir ainsi dix exemplaires à chaque révolution du tambour portant la composition. La machine de M. Marinoni, qui est employée au *Petit Journal*, est construite d'après les mêmes principes que celle de Hoe, mais avec des modifications assez importantes.

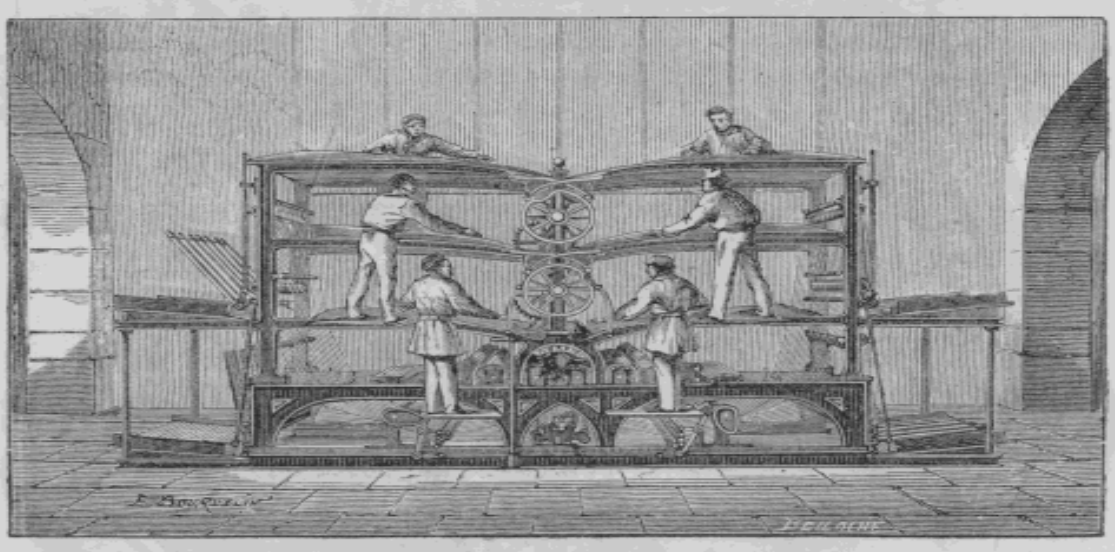


Fig. 14.

La machine Marinoni se compose de cylindres en nombre pair (provisoirement de six), recevant les uns des clichés cylindriques, les autres des blanchets. Les clichés cylindriques portant la composition s'adaptent aux cylindres au moyen de griffes à vis. La supériorité de la machine Marinoni sur celle de Hoë consiste en ce que le constructeur français a supprimé les receveurs en les remplaçant par un mécanisme qui reçoit les feuilles. De cette modification résulte une économie considérable, puisqu'il y avait autant de receveurs que de margeurs. Ainsi, la grande machine de Hoë exige pour son service un conducteur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

huit margeurs et huit receveurs, soit en tout dix-sept personnes : celle de Marinoni n'emploie qu'un conducteur et six margeurs, soit sept personnes. La vitesse que donne cette machine est de 30,000 exemplaires à l'heure : il est bon d'ajouter que l'emplacement de la machine du constructeur français n'atteint que le tiers de la place que nécessite la machine américaine, qui, toutes dépenses d'installation comprises, revient à 120,000 fr., tandis que la machine Marinoni ne coûte que 40,000 fr. Notons enfin que les presses de Hoë impriment en blanc, et qu'il faut marger la feuille deux fois pour obtenir la retiration, tandis que la presse Marinoni fait la retiration et donne avec un seul margement une feuille imprimée des deux côtés à la fois. Comme on le voit, chaque machine porte trois compositions : le grand nombre d'exemplaires obtenu ne provient donc pas seulement de la rapidité du tirage, mais aussi de la rapidité avec laquelle les clichés peuvent venir occuper leur place dans les cylindres. La mécanique et le clichage ont donc une part égale à revendiquer dans le progrès réalisé, et nous reviendrons naturellement sur cette question dans notre article sur la Fonderie.

MM. Kœnig et Bauer, dont on retrouve toujours le nom lorsqu'il s'agit d'un progrès accompli dans les machines à imprimer, ont exposé une machine dite à deux couleurs, c'est-à-dire qui imprime deux couleurs l'une après l'autre sur la même feuille en ne la margeant que deux fois. Pour être juste, il convient d'ajouter que M. Dutartre avait employé ce système avant MM. Kœnig et Bauer, et que nous avions vu, il y a déjà quelque temps, des impressions à deux couleurs dont on admirait le registre exact, par l'excellente raison qu'avec le système inauguré par M. Dutartre il ne faut pas de registre. Un homme très-compétent, M. Motteroz, a critiqué avec juste raison, dans les machines de MM. Kœnig et Bauer, ce qu'il nomme la touche allemande, c'est-à-dire l'encrage avec deux rouleaux, tandis que la touche française permet d'employer une quantité de rouleaux en rapport avec la surface à couvrir. Mais par contre il faut aussi reconnaître, avec M. Motteroz, que le mécanisme des machines allemandes est supérieur à celui des machines françaises, parce que le mouvement y est transmis au marbre par une bielle et deux engrenages placés horizontalement, ce qui prévient le papillotage auquel les machines ordinaires sont sujettes.

A côté de ses machines à deux couleurs, M. Dutartre avait aussi exposé des machines en blanc pour les impressions de luxe, et des machines à retiration avec lesquelles l'interposition d'une feuille de décharge permet de réunir la netteté et la rapidité. C'est à juste titre que le jury a décerné la première des médailles d'or à M. Dutartre.

Dans la section américaine une toute petite presse attirait l'attention du public: elle est spécialement destinée pour les travaux de petit format, ce que l'on nomme les ouvrages de ville, et elle marche au pied, c'est-à-dire avec une pédale, ou à la vapeur. Sa production atteint 1,500 exemplaires à l'heure, et sa simplicité est telle que le premier venu, un apprenti au besoin, peut la conduire sans danger. Nous sommes étonné qu'une simple médaille de bronze ait été accordée à MM. Degener et Weiler de New-York, inventeurs de cette machine, dont le petit modèle (marbre de 21 centimètres sur 32, intérieur du châssis 17 centimètres et demi sur 27 et demi) ne coûte que 875 fr., avec trois châssis, deux jeux de rouleaux, un moule, un rouleau à main et deux clefs.

Nous avions vu à Londres, en 1862, une presse dite électro-magnétique, et qui avait fait concevoir de brillantes espérances. Nous en donnons, fig. 15 et 16, l'élévation et le plan. Bien que nous ne sachions pas ce que cette machine est devenue, nous croyons devoir en parler parce qu'il y a là une pensée première qui,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

abandonnée par l'auteur, peut être reprise et donner lieu à des applications sérieuses.

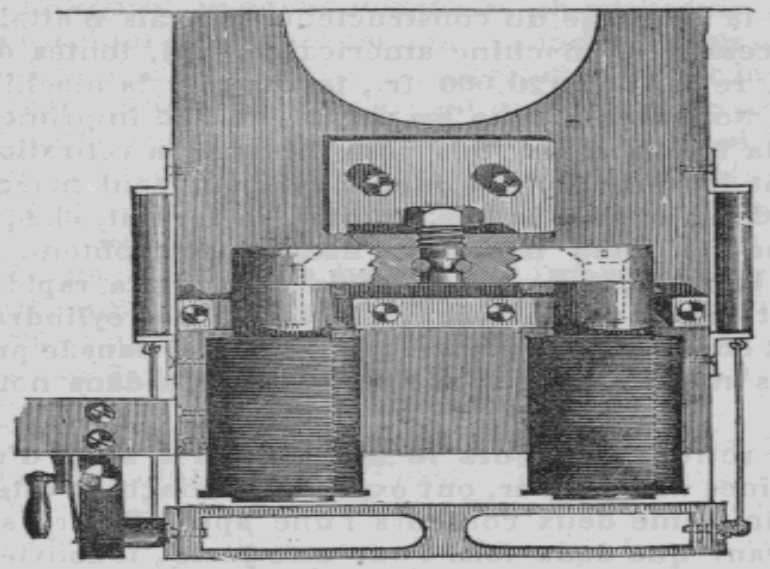


Fig. 15.

La particularité principale de cette machine, dit la *Revue de l'Exposition* de 1862, publiée par le directeur du *Practical Mechanic's journal* (auquel nous avons emprunté plusieurs figures de notre étude), consiste dans l'obtention de la pression de deux aimants sur une barre de fer doux. Cette pression s'exerce alternativement sur les deux formes, c'est-à-dire que la première forme, après avoir reçu l'encre, va recevoir l'impression pendant que la seconde forme est encrée à son tour. Les avantages qui résulteraient de ce mode d'impression consistent dans la diminution des frais de construction, la facilité, la rapidité et l'économie du travail, puisque cette presse, qui d'ailleurs est portative, peut être manœuvrée par des femmes et des enfants.

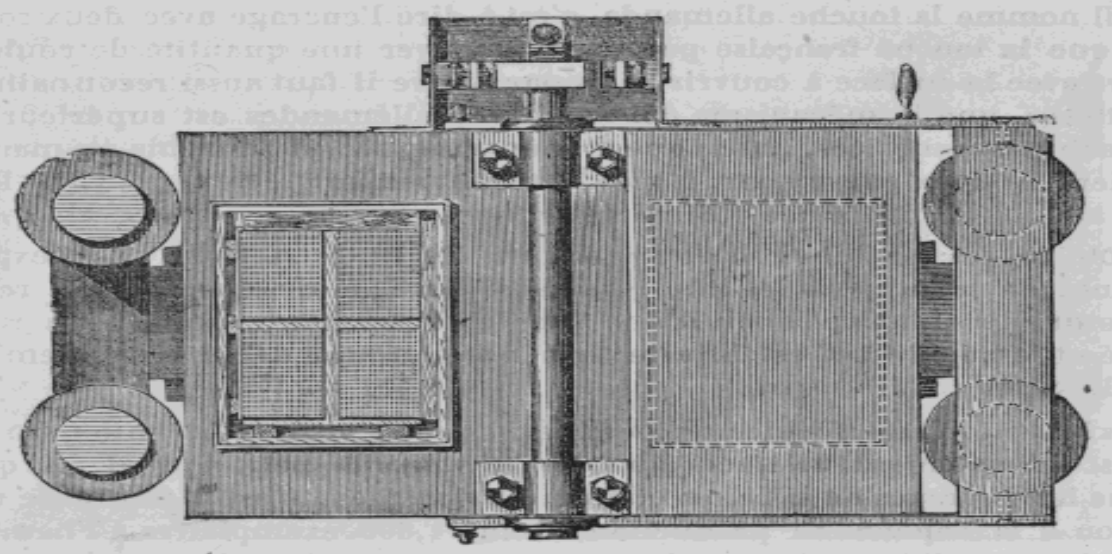


Fig. 16. — Presse électro-magnétique.

L'auteur de cette presse est M. Harisson; nous avons eu entre les mains des épreuves de petite dimension tirées en notre présence, mais nous répétons que nous ignorons si des essais ont été tentés sur une plus grande échelle, et si la presse électro-magnétique est entrée dans le domaine industriel.

En résumé, nous croyons pouvoir dire que l'Exposition de 1867 n'a révélé aucun progrès véritablement nouveau. Il y a eu des perfectionnements sérieux, des essais d'applications nouvelles, mais aucune invention capitale ne s'est manifestée.

AUG. JEUNESSE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXIII

LES

PRODUITS CHIMIQUES

ET LE

MATÉRIEL DES ARTS CHIMIQUES

A l'Exposition universelle de 1867. —— Classes 44 et 51 [1].

Par M. Léon DROUX, ingénieur civil.

Pl. 212, 236 et 237.

IV

On a dit avec raison que la houille était le pain de l'industrie. — Dans la fabrication des produits chimiques, l'acide sulfurique joue un rôle encore plus important que celui de la houille dans l'industrie générale. Il n'y a pour ainsi dire pas de préparations chimiques dans lesquelles la présence de cet acide énergique ne soit indispensable.

La fabrication des autres acides, celles de la soude, de l'alun, du chlore, du phosphore, des bougies stéariques, l'affinage de l'argent, la saccharification de la fécule, l'épuration des huiles, et une foule d'autres industries sont tellement liées à celle-ci, que « si l'on possédait, dit M. Dumas, un tableau exact des quan-« tités d'acide sulfurique consommées annuellement dans divers pays, on obtien-« drait en même temps la mesure exacte du développement de l'industrie dans « ce pays. »

31 fabriques avaient envoyé leurs produits à l'Exposition universelle.

11 pour la France.
4 — la Hollande.
4 — la Belgique.
3 — la Russie.
3 — l'Espagne.
2 — l'Autriche.
2 — l'Allemagne.
1 — l'Italie.
1 — la Valachie.

Cette simple nomenclature suffirait au besoin pour prouver que les Expositions ne donnent pas toujours une idée relative de l'importance des fabrications; car, dans toute la section anglaise, nous n'avons pas rencontré un seul flacon d'acide sulfurique, et nous savons tous cependant que c'est dans la Grande-Bretagne que se trouvent les plus grandes manufactures de produits chimiques.

La date de la découverte de cet acide puissant est impossible à fixer.

[1] Voir tome VI, page 146.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est *César Dornæus*, qui le premier, en 1570, le mentionne d'une façon certaine. L'alchimiste *Albert le Grand* cite bien l'*esprit de vitriol romain*, *le soufre des philosophes*, mais d'une façon confuse.

Le premier acide sulfurique a été obtenu par calcination et distillation des sulfates. — C'est le procédé employé encore aujourd'hui à *Nordhausen*.

La couperose, ou vitriol vert, était calcinée dans une cornue. L'acide sulfurique dégagé par la chaleur et réduit en vapeur condensée dans un récipient, ne contenant qu'un équivalent d'eau (66°), avait l'aspect huileux de l'acide sulfurique concentré, de là son nom primitif *d'huile de vitriol*.

A. Sala observa vers le commencement du dix-septième siècle que le soufre brûlé en vase humide produisait une matière analogue à l'huile de vitriol ; les *apothicaires* adoptèrent bientôt ce procédé, et, en raison de la forme des vases sous lesquels on le récoltait, lui donnèrent le nom, *d'esprit de soufre à la cloche*.

Plus tard, *Le Fèvre* et *Lemery* reconnurent que l'addition du salpêtre, tout en favorisant la combustion du soufre, activait la production de l'acide ; c'est donc à ces deux savants que nous devons la découverte importante sur laquelle repose la fabrication actuelle : l'oxydation à l'aide d'un acide auxiliaire, de l'acide sulfureux formé par la combustion du soufre.

Ces chimistes opéraient la combustion du mélange de soufre et de salpêtre dans une cuillère en tôle placée sous une grande cloche de verre, dans laquelle on avait préalablement exposé un vase plat rempli d'eau.

Vers 1700, un nommé *Ward* établit à Londres la première fabrique d'acide sulfurique d'après ce système nouveau. Il opérait dans des ballons en verre de 200 à 300 litres, placés sur un banc de sable, avec une ouverture horizontale par laquelle on introduisait dans le ballon, et à l'aide d'une cuillère en fer, un mélange enflammé de soufre et de nitre. Les ballons contenaient un peu d'eau, et l'acide formé se déposait dans le fond. Cette usine, assez bien organisée pour l'époque, abaissa le prix de l'acide sulfurique d'environ 32 à 6 francs le kilogramme.

Un progrès non moins important est dû à *Rœbuk* et *Garbett*, qui imaginèrent vers 1746, et construisirent à Birmingham les premières chambres de plomb pour la fabrication et la condensation de l'acide sulfurique.

Le prix de l'acide tomba bientôt alors à environ 1 franc le kilogramme : il vaut aujourd'hui 12 centimes, et même moins.

La fabrication dans les chambres de plomb, presque la seule employée actuellement, porte encore le nom de procédé anglais.

C'est *Holker* qui introduisit cette fabrication en France, et c'est à Rouen que fut établie, en 1766, la première chambre de plomb ; huit ans plus tard, *La Follie* conseilla également, à Rouen, l'injection de la vapeur d'eau dans les chambres. C'est enfin un descendant de Holker qui, en 1810, imagina, encore à Rouen, le système de combustion continu.

En 1813, ce même *Holker* forma, avec les chimistes *Chaptal* et *Darcet*, une association pour la fabrication des produits chimiques, et cette société construisit aux Ternes, Paris aujourd'hui, et à la Folie-Nanterre, de grandes chambres pour la fabrication de l'acide sulfurique ; et il y a à peine cinq ans que le signataire de cet article fit, à regret, démolir la dernière de ces célèbres chambres de la Folie-Nanterre.

Avec la théorie de Stahl, l'acide sulfurique était tout formé dans le soufre, composé, selon lui, d'huile de vitriol et de phlogistique.

C'est Lavoisier qui nous apprit sa véritable composition et les lois de sa formation = soufre 1, oxygène 3, plus 1 d'eau, $SO^3 + HO$.

La théorie de la fabrication de l'acide sulfurique semble simple au premier abord, mais cet acide ne se produit, en définitive, que par une série de combi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

naisons successives, et dont les proportions doivent être soigneusement calculées.

Il s'agit d'oxyder l'acide sulfureux SO^2 pour le transformer en SO^3.

Sauf la fabrication de Nordhausen, que nous laisserons momentanément de côté, il faut toujours commencer par la production de l'acide sulfureux, soit par le soufre, soit à l'aide de ses composés, tels que les pyrites.

Le soufre, en brûlant à l'air, lui prend 2 équivalents d'oxygène pour former l'*acide sulfureux* SO^2. Cet acide sulfureux est introduit, avec un excès d'air, dans les chambres où il se trouve en contact avec de l'acide azotique liquide, disposé en surface étendue. Les réactions suivantes s'opèrent alors : l'acide azotique AzO^5, contenant 5 équivalents d'oxygène, en cède 1 à l'acide sulfureux, dont l'équivalent est aussitôt converti en *acide sulfurique* SO^3.

Le reste AzO^4, acide *hypo-azotique*, en présence de l'eau, se dédouble en *acide azoteux* AzO^3, et en *nouvel acide azotique* AzO^5, qui recommence la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique.

A son tour AzO^3, *acide azoteux*, en présence de l'air et de la vapeur d'eau, se dédouble encore en AzO^4, nouvel équivalent d'*acide hypo-azotique*, qui recommence la réaction précédente, et en AzO^2, *bioxyde d'azote*.

Enfin AzO^2, en présence d'un excès d'acide sulfureux et d'eau, perd encore un équivalent d'oxygène, qui entre dans la composition d'un nouvel équivalent d'acide sulfurique, et le bioxyde, devenu *protoxyde* AzO, reste gazeux et s'échappe dans la cheminée d'appel.

De sorte que l'*acide azotique*, toujours régénéré par l'*oxygène* de l'air sous l'influence de la vapeur d'eau, vient continuellement céder de l'oxygène à l'*acide sulfureux*, et le transformer en *acide sulfurique*, qui tombe en pluie dans les chambres.

Voici les conditions à remplir :

Pour éviter toutes pertes de gaz azoteux, il faut entretenir dans les chambres un excès d'oxygène emprunté à l'air ; pour faciliter les réactions, les gaz doivent y être continuellement en mouvement ; la chaleur, le degré d'humidité et la surface des chambres doivent enfin être telles, que l'acide sulfurique formé se sépare rapidement en rencontrant de larges surfaces.

Si la vapeur d'eau venait à manquer, les chambres *ne travailleraient plus*, et il pourrait se former un composé cristallin renfermant 2 équivalents d'acide sulfurique et 1 équivalent d'acide azoteux.

Il pourrait encore y avoir précipitation du soufre réduit à l'état naissant.

Nous n'entrerons pas ici dans de plus longs détails sur la fabrication bien connue de l'acide sulfurique.

Après avoir rappelé ces données et remis à la mémoire du lecteur la fabrication opérée dans une seule chambre, puis dans une série de chambres de diverses dimensions, tambours, grandes chambres et tambours en queues, nous examinerons les modifications et les perfectionnements apportés à cette industrie pendant ces dernières années.

Quand une industrie repose sur des bases certaines, on ne peut s'attendre à voir les industriels y apporter des modifications bien sensibles, surtout quand le produit obtenu est déjà descendu à la faible valeur de 10 à 12 francs les 100 kilogr., frais généraux compris.

V

En réalité, la fabrication de l'acide sulfurique est encore ce qu'elle était il y a vingt ans ; il ne faudrait cependant pas croire que cette industrie est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

restée stationnaire complétement, car elle a pris un énorme développement.

L'augmentation du prix du soufre brut, l'exploitation sérieuse des mines de pyrites de fer et de cuivre, et notamment de celles de Chessy et de Saint-Bel, ont amené la majorité des usines françaises à abandonner l'emploi du soufre.

La plus grande partie de l'acide sulfurique fabriqué aujourd'hui dans notre pays provient du soufre extrait directement des pyrites, c'est-à-dire des pyrites tranformés par le grillage à l'air en acide sulfureux; mais déjà, avant nous, les Anglais employaient les pyrites de fer de Cornouailles ou de Portugal.

Depuis longtemps, l'Allemagne traitait les pyrites ferrugineuses, pour en extraire le soufre même. Cette industrie s'exerce encore aujourd'hui à *Caselerfied*, dans le Hartz (Prusse) et en Bohême, mais les quantités de soufre obtenues sont peu considérables.

Divers procédés sont employés : les pyrites en poudre sont distillées dans des tubes inclinés, et le soufre se dégage par la partie supérieure à l'état de vapeur que l'on condense. Ces tubes présentent une certaine analogie avec les fours coulants employés à la révivification continue du noir animal.

Un second procédé consiste dans le chauffage en masse d'une certaine quantité de pyrites concassées. Il faut là l'intervention d'un courant d'air, qui vient détruire en pure perte une partie du soufre transformé en acide sulfureux non recueilli. La chaleur, développée, suffit pour dégager le soufre des couches supérieures des pyrites. Ce procédé, par trop primitif, n'est plus employé qu'à de très-rares exceptions.

En France, les usines de Marseille continuent toujours à n'employer que du soufre. A Montpellier, à Bordeaux, dans quelques usines de Paris, et enfin à Saint-Gobain et dans les usines où l'on tient à obtenir un produit privé de matières arsénicales, l'on a conservé l'emploi exclusif du soufre pour la production de l'acide sulfurique.

Notre désir eût été de dresser un tableau comparatif, au moins pour notre pays, des quantités d'acide sulfurique obtenues par la combustion directe du soufre, et de celles obtenues à l'aide des pyrites : les renseignements précis nous manquent pour ce travail. Nous savons seulement qu'une seule maison (Perret et fils, de Lyon) produit journellement 200,000 kilogrammes d'acide sulfurique extrait des pyrites.

En Angleterre, l'acide sulfurique est produit presque exclusivement au moyen des pyrites ferrugineuses des comtés de Wicklow et de Cornouailles.

Actuellement les pyrites ferrugineuses de Belgique et les pyrites cuivreuses ou ferrugineuses d'Espagne ou de Portugal sont employées de préférence aux pyrites anglaises, en raison de leur richesse en soufre. On peut affirmer qu'en Belgique, comme dans le nord de l'Allemagne, pas une seule fabrique n'emploie aujourd'hui le soufre.

En Bohême et dans le centre, où de tout temps la fabrication a existé à l'aide des procédés dits de Nordhausen, la fabrication continue à l'aide des pyrites sulfureuses; enfin, dans l'Allemagne du sud, la fabrication au moyen du soufre de Sicile est plus généralement adoptée.

Les deux ou trois petites fabriques italiennes emploient naturellement le soufre de Sicile.

En Espagne, deux usines, Séville et Santander, brûlent des pyrites; les deux fabriques de Madrid, celles de Malaga, de Barcelone et des environs, n'emploient que les soufres bruts naturels d'Espagne, et notamment ceux des environs de Téruel (Aragon).

A Lisbonne et à Porto, l'acide sulfurique est obtenu par les pyrites du pays.

L'exposition des États-Unis et des autres contrées d'Amérique contenait à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peine quelques rares échantillons de produits chimiques; aucun flacon d'acide n'y figurait. Nous croyons néanmoins savoir qu'à New-York et à Baltimore, l'acide sulfurique est obtenu par le soufre.

Malgré l'énorme production d'acide sulfurique obtenu à l'aide de l'acide sulforeux emprunté aux pyrites, la production du soufre en Sicile est toujours aussi considérable qu'autrefois. Le chiffre de l'exportation n'a pas diminué non plus, malgré l'élévation des prix, et il faut en partie attribuer ce résultat à la maladie de la vigne, car chacun sait que l'*oïdium* a été combattu partout à l'aide du soufrage.

Ce nouvel emploi a été surtout l'un des motifs de l'augmentation considérable du prix du soufre brut; ce produit s'est élevé de 12 à 24 francs les 100 kilogrammes.

C'est surtout cette hausse énorme qui amena les fabricants d'acide sulfurique à modifier leurs fours de combustion et à les transformer en fours à pyrites, bien souvent malgré eux, car la fabrication par le soufre est plus facile, détériore moins les chambres de plomb, tout en produisant de l'acide sulfurique d'une plus grande pureté. Il est certain que le jour où l'exploitation des soufres de Sicile sera mieux entendue et que les moyens de communication seront à meilleur marché, nous verrons une partie des fabricants d'acide revenir à l'emploi de cette matière première, surtout si l'agriculture, débarrassée de la maladie de la vigne, nous demande moins de fleurs de soufre.

Aucune modification bien importante n'est à signaler dans les fours destinés à la combustion du soufre pour la production de l'acide sulfureux. Voici quelques perfectionnements datant cependant déjà de quelques années.

Le fabricant d'acide a un grand intérêt à ce que la quantité d'air admise dans la chambre à combustion ne soit pas trop considérable, et doit s'arranger de façon à ce que cette quantité soit précisément celle utile à l'oxydation de l'acide sulfureux. Tout excès d'air amène une consommation excessive d'acide nitreux, des pertes en acide sulfureux, et gêne la marche de la fabrication en apportant un trouble dans les réactions générales.

Théoriquement, on ne devrait laisser pénétrer dans les fours à combustion que la quantité d'air correspondante à trois équivalents d'oxygène pour un équivalent de soufre brûlé (deux équivalents pour l'oxydation du soufre et sa transformation en acide sulfureux et un troisième équivalent pour la conversion de l'acide sulfureux en acide sulfurique).

Pour se rapprocher de cette consommation théorique, on a essayé un grand nombre de fours ou de sysèmes régulateurs.

Le directeur des usines de *Kearsley-Works*, près de Boston, M. Harrisson-Blair, indique un système très-favorablement accueilli par tous, et qu'il décrit ainsi lui-même :

L'appareil pour la combustion du soufre se compose de trois parties : le four à soufre, le four à combustion et le four à nitre. Ces fours peuvent brûler environ quatre tonnes par jour.

Le four à soufre a environ 2m,70 de long sur 1m,35 de largeur, mesures intérieures : il est recouvert d'une voûte réverbératrice, et sa sole est bien cimentée : ses murs ont 0m,30 de haut, une brique et demie d'épaisseur (0m,33), ils sont solidement établis. A l'extrémité, une porte en fer, fermant hermétiquement et perforée d'une ouverture rectangulaire de 0m,025 sur 0m,075 (un pouce sur trois), sur laquelle glisse un registre, sert à charger le four et à retirer les résidus. Ces résidus ne s'enlèvent qu'une fois en vingt-quatre heures.

On peut introduire en une fois la charge entière de soufre pour douze ou vingt-quatre heures, on peut encore la faire arriver par un entonnoir adapté à la voûte, traversant la voûte par un tuyau de fer, et descendant très-près de la sole. Cet entonnoir laisse arriver

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le soufre de chargement au fur et à mesure que celui de la sole fond et se consomme. L'inventeur donne la préférence à la première méthode. La rapidité de la combustion est réglée par l'admission de plus ou moins d'air au moyen du registre adapté à la porte, la chaleur augmentant, ainsi que la volatilisation du soufre, en raison de la quantité d'air qu'on laisse pénétrer dans le four.

A l'extrémité opposée à celle où se trouve la porte, ce four communique avec le four à combustion au moyen d'un carneau d'environ 0m,22 et réglé par un registre en argile réfractaire. L'intérieur du four à combustion possède environ 2m,40 sur 1m,80; il est divisé en compartiments par deux murs de 0m,60 de haut, s'étendant longitudinalement depuis l'extrémité près du four à soufre jusqu'à 0m,25 environ de la paroi opposée; ces compartiments sont recouverts par des voûtes en argile réfractaire qui forment la sole du four à nitre.

Le four à nitre est placé au-dessus du four à combustion; il est formé par l'élévation des murs extérieurs d'environ 0m,45 au-dessus de la sole en briques; dans l'une des parois trois ouvertures sont pratiquées pour l'introduction des auges à nitre. Ce four est surmonté d'un dôme en fonte, dont le but est de favoriser le refroidissement des vases avant leur admission dans les chambres.

Près de l'endroit où le carneau du four à soufre communique avec le four à combustion, dans l'un des compartiments extérieurs, on pratique à travers le mur une ouverture de 0m,15 sur 0m,08, fermée par un registre. Elle a pour but l'admission bien régularisée d'une quantité d'air nécessaire à la combustion de la vapeur de soufre, dont la volatilisation a lieu dans le four précédent, dit four à soufre.

Les gaz mélangés, après s'être rendus au fond de ce compartiment, reviennent par l'autre vers l'extrémité située près du four à soufre, et s'élèvent dans le fourneau à nitre au moyen d'ouvertures pratiquées dans sa sole : ces ouvertures possèdent la longueur d'une brique ainsi que sa largeur 0m,22 × 0m,11. Du four à nitre un carneau les entraîne vers l'extrémité opposée à celle par où ils entrèrent, et les dirige dans une cheminée communiquant avec les chambres.

Il réulte de l'emploi de cet appareil qu'on peut fabriquer dans les mêmes chambres une plus grande quantité d'acide sulfurique que celle que l'on obtient lorsque ces chambres sont alimentées par des fours à combustion plus intermittente, et comme on ne se sert que d'un four au lieu de vingt, il y a économie à la fois de capital et de travail.

Dans beaucoup de fabriques, on règle encore l'admission de l'air dans les fours à soufre, en agissant non plus sur l'entrée, mais sur la sortie du gaz, à la fin des chambres de plomb. La dernière chambre communiquant par un gros tuyau de plomb avec une cheminée indépendante, on s'arrange de façon à ce que ce tuyau occupe dans un endroit donné une position verticale par rapport à sa section. Cette section du tuyau, garnie d'un diaphragme perforé, au moyen d'un disque en plomb glissant sur ce diaphragme, on peut modifier les sections de passages ouverts, et régler aussi par le tirage à la sortie la quantité d'air introduite dans les fours et dans les chambres.

M. *Stas*, l'éminent chimiste belge, a proposé depuis longtemps de séparer en deux les quantités d'air à introduire dans les chambres.

Ce procédé en usage dans quelques usines du Nord consiste à ne laisser pénétrer dans le four à soufre que la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion du soufre et à sa transformation en acide sulfureux. Une seconde ouverture variable laisse pénétrer dans le tambour ou première petite chambre la proportion d'air nécessaire à la seconde transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique.

Le fabricant d'acide a donc le plus grand intérêt à combiner ses appareils par des dispositions particulières, soit à l'entrée, soit à la sortie, de façon à ce que la quantité d'air soit équivalente à celle consommée.

Théoriquement, 100 de soufre doivent produire 306 d'acide sulfurique d'une densité de 1,843; malgré toutes les précautions prises, le rendement maximum

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des chambres ne dépasse pas 280 à 285, et n'atteint 290 que dans quelques usines.

L'Exposition ne nous révèle aucun progrès à ce sujet.

La régularité de l'admission de l'air présente encore plus d'importance lorsqu'on a des pyrites à brûler, et cette régularité est d'autant plus difficile à obtenir que l'oxygène n'est plus seulement employé à la combustion du soufre, mais qu'il en faut encore une grande proportion pour l'oxydation des métaux constituant les pyrites.

L'introduction de l'air doit donc être variable avec la nature de la matière employée, c'est là une des causes qui ont fait échouer beaucoup de fabricants ; en effet, presque toujours le rendement des chambres en acide n'est pas en rapport avec les proportions de soufre indiquées par l'analyse du minerai.

Une autre cause est encore venue diminuer le produit des chambres. Tel appareil produisant une quantité donnée, 100 par exemple d'acide sulfurique lorsqu'on traitait le soufre, ne donnait plus que 70 ou 75 lorsque le four avait été modifié et que l'on brûlait les pyrites.

En effet, la quantité d'air nécessaire à la combustion des pyrites n'abandonne que son oxygène et fournit par conséquent une grande quantité d'azote introduit dans les chambres en même temps que l'acide sulfureux ; la capacité des chambres doit donc être augmentée d'autant, ou, ce qui revient au même, la production d'une ancienne chambre diminue d'une quantité proportionnelle.

Néanmoins le prix de revient des pyrites et leur richesse en soufre sont tels que l'emploi de cette source d'acide sulfureux se généralise chaque our davantage, et, pour la plus grande partie des usines françaises, anglaises, allemandes et belges, l'emploi des pyrites peut être considéré comme définitif, malgré les nombreux inconvénients que cette matière présente.

En Angleterre, on utilisa d'abord les pyrites du pays, bien que leur richesse en soufre ne soit que de 30 p. 100. Aujourd'hui les usines anglaises tirent presque toutes leurs pyrites du Portugal et de l'Espagne, notamment des riches mines de Huelva, qui contiennent jusqu'à 45 et 50 p. 100 de soufre.

En Belgique et dans le Nord, ce sont les pyrites ferrugineuses belges qui sont presque généralement employées. A Marseille et dans le midi de la France, les usines pourraient être alimentées par les mines abondantes du bassin d'*Alais*, mais la grande exploitation française est celle de M. *Perret et fils*, de Chessy. Ces industriels ont établi d'immenses fabriques à Lyon, à Avignon, à Chessy, et fournissent en outre leurs pyrites dans un rayon qui s'étend jusqu'à Paris et embrasse l'Alsace.

Les pyrites de cuivre de *Chessy* et de *Saint-Bel* ne contiennent que 3 à 4 p. 100 de cuivre, dont l'extraction ne peut se faire qu'après un grillage ou désulfuration. Les émanations d'acide sulfureux forcèrent pour ainsi dire les propriétaires de ces mines à devenir malgré eux producteurs d'acide sulfurique. Le cuivre était autrefois l'objet principal de la production, on ne traitait que les pyrites riches en cuivre et l'on abandonnait tout ce qui ne contenait que du soufre. Avec l'extension de l'industrie des produits chimiques, et notamment des fabriques d'acide stéarique, la consommation de l'acide sulfurique a pris à Lyon une importance considérable, et peu à peu la fabrication de l'acide sulfurique devint telle, que la fabrication du cuivre descendit au second degré. Les amas de pyrites pauvres en cuivre, jadis objet d'embarras et d'encombrement, devinrent ainsi bientôt une grande source de richesses pour les propriétaires de Chessy.

L'augmentation du prix du soufre venant encore favoriser cette situation, beaucoup d'usines tentèrent l'emploi des pyrites, et aujourd'hui la substitution est devenue presque universelle, et celles des usines de France qui, éloignées des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mines de pyrites, avaient le moins d'intérêt à se servir d'une matière qui ne fournit au maximum que 45 p. 100 de soufre, l'ont adoptée à leur tour. L'on peut dire que l'emploi de ces pyrites étant devenu général, ce n'est plus que dans quelques cas spéciaux, et pour quelques usages déterminés, qu'on fabrique encore de l'acide sulfurique par la combustion du soufre de Sicile. Ajoutons cependant que presque toutes les grandes usines de Marseille continuent toujours à brûler le soufre.

Après de nombreux essais, on s'est arrêté, dans la plupart des usines, à n'emprunter qu'à la pyrite elle-même, la chaleur nécessaire pour entretenir la combustion. Les fours doivent donc être autant que possible continus.

Plusieurs sortes de fours sont employés ; les résultats varient à l'infini avec les usines ; tel four, avec la même nature de pyrite, donne de bons résultats ici, tandis qu'il est trouvé mauvais à côté. Tout dépend de la façon de le conduire.

Le four coulant (*fig.* 1) présente le grand avantage de la simplicité, c'est le plus communément employé.

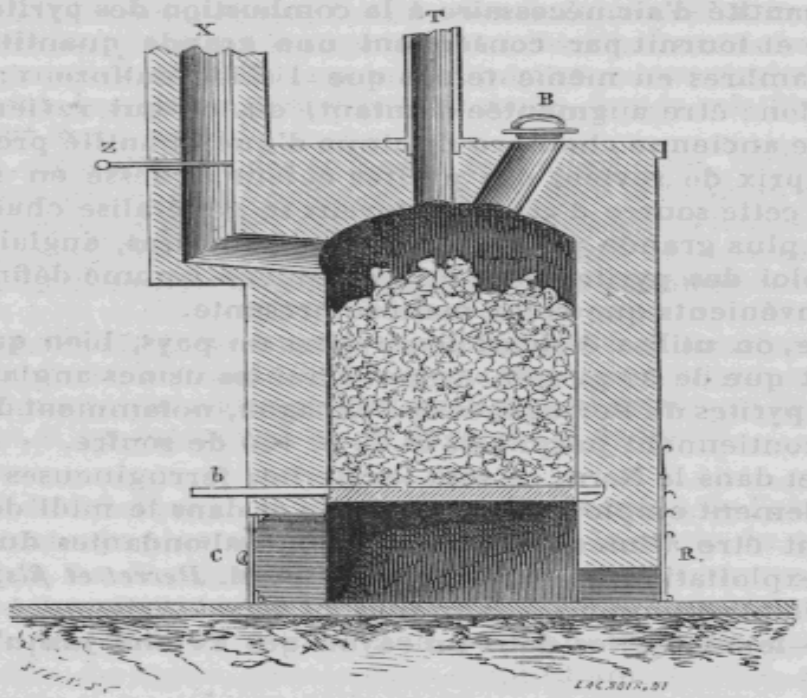


Fig. 1.

Ce four consiste en un fourneau en briques réfractaires présentant assez d'analogie avec les fours à chaux, mais ne se terminant pas en cône comme ces derniers. Les dimensions varient, mais sont généralement de 2 mètres de long, 0m,90 de large et 1m,50 de haut.

Les parois des murailles ont 0m,60 d'épaisseur, et la partie supérieure forme une voûte. Deux ou trois bouches de chargement, B, existent à la partie supérieure.

Une grille *b*, placée à environ 0m,60 du sol, règne dans toute la longueur du four, et une porte à coulisse R sert à régler l'introduction de l'air ; en face, une ouverture C, également munie d'un registre à coulisse, sert à l'extraction des résidus.

Un tuyau en fonte T, placé sur la voûte du four, conduit les produits de la combustion (gaz acide sulfureux, mélange d'air) dans les chambres de plomb. Un registre à papillon, non figuré au dessin peut à volonté intercepter la communication. Enfin un carneau en briques X, avec un registre en fonte Z, communique directement avec la cheminée de l'usine.

La capacité réelle du four A, déduction faite du cendrier, est d'environ 1m,50 à 2 mètres cubes. La mise en train s'opère de la façon suivante :

Après avoir fortement chauffé le four à l'aide d'un combustible ordinaire, dont la fumée s'échappe directement dans la cheminée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'usine par le carneau X, les pyrites sont jetées dans le four par les ouvertures B. Au contact du four chauffé au rouge, la pyrite se décompose, et le soufre dégagé s'enflamme pour produire l'acide sulfureux.

On ferme alors le carneau X au moyen du registre Z, puis on ouvre le registre (registre à papillon généralement) du tube T en communication avec un gros tuyau longitudinal en plomb, destiné à conduire l'acide sulfureux dans les chambres. — On augmente progressivement la charge des pyrites de façon à entretenir sur la grille une hauteur de soixante à quatre-vingts centimètres.

Les barreaux de la grille sont mobiles, ils dépassent en B, de façon à ce qu'à l'aide d'un simple mouvement de rotation imprimé à l'un de ces barreaux, on puisse faire tomber dans le cendrier la pyrite brûlée, qu'on extrait ensuite par la porte C.

Le résidu de la pyrite est une poussière d'un brun rougeâtre. Chez MM. Perret, à Saint-Fons, près Lyon, ces résidus de pyrites sont mis en tas et abandonnés à l'air dans un vaste enclos dallé en pente. La pluie naturelle, ou, à son défaut, un arrosage à bras d'homme, tombant sur ces résidus, les lessive et entraîne une liqueur chargée de sels de cuivre. Cette liqueur recueillie, puis concentrée légèrement, est mise en contact avec de vieilles ferrailles (résidus de cerclage de barils) qui précipitent, par l'action galvanique, le cuivre à l'état métallique mélangé d'oxyde noir. Ces ferrailles brossées permettent de recueillir ce mélange de cuivre et d'oxyde de cuivre, qu'il n'y a plus qu'à traiter pour en séparer les oxydes et sulfates de fer, puis à passer au fourneau à reverbère pour obtenir des lingots de cuivre pur.

MM. Perret et fils avaient envoyé à l'Exposition un modèle de fours à étagères pour la combustion continue de pyrites. Leur but principal est l'utilisation des menus, ou poussières, impossibles à griller dans le four ordinaire.

Le principe de ce grillage réside dans cette observation que la pyrite menue, étalée sur une épaisseur de 2 centimètres seulement, grille complétement en trente-six heures, sans être remuée. Cette poussière, portée au rouge une première fois, se maintient en combustion à l'aide de la chaleur développée par un four à griller la pyrite en morceaux, placé immédiatement au-dessous. Tous les produits gazeux traversent successivement les étages du second four, en s'élevant à l'intérieur et en serpentant à travers les divers rayons ou étagères du four.

On peut aussi brûler telles quantités de pyrites menues que l'on désire, en superposant un nombre d'étages suffisant pour atteindre la proportion naturelle entre le gros et le menu des pyrites. Il est à remarquer que plus on augmente le nombre des étages, plus la température s'élève. Le modèle de l'Exposition est de huit étages et brûle soixante-cinq de menu avec trente-cinq de gros dans un four inférieur.

Toute la chaleur produite par la combustion des pyrites (gros et menu) s'accumule dans les gaz, et surtout dans les usines où l'on brûle des quantités considérables de pyrites, on se trouve avoir des gaz portés à une température beaucoup trop élevée pour être introduits tels quels dans les chambres. La meilleure température à l'entrée des chambres doit être de + 70°; on atteint à la sortie du four jusqu'à + 200°. — On a pensé à utiliser cette chaleur pour la production de la vapeur nécessaire à la fabrication de l'acide sulfurique, mais ces gaz, en abandonnant leur chaleur aux chaudières à vapeur, déposent en même temps de l'acide sulfurique qui en peu de temps corrode et détruit aussi bien les carreaux ou conduits en briques que les générateurs de vapeur ; on a donc dû abandonner cette construction, non-seulement en raison de l'usure des appareils, mais surtout à cause des perturbations fréquentes dans le travail des chambres. Le premier besoin pour la bonne production d'une chambre est sa régularité de marche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les usines de MM. *Perret*, ainsi qu'à Dieuze et chez M. *Ch. Ketssner*, de Thann, ces difficultés sont évitées en plaçant, à côté des fours à combustion, les appareils vaporisateurs (chaudières tubulaires en plomb), qui doivent se composer de deux parties distinctes : la première, dans laquelle la température des gaz se maintient au-dessus de + 100°; la seconde, dans laquelle cette température ne dépasse pas + 100°, et dans laquelle on commence à chauffer l'eau qui sert à l'alimentation de la première.

Une disposition de tuyaux, simple, permet d'isoler momentanément et de remplacer chacun des appareils dont l'ensemble produit toute la vapeur nécessaire à la fabrication.

Le système de fours à étages dont il vient d'être parlé fonctionne

Dans les usines de	Saint-Fons (Rhône).	Maisson Perret et fils.
—	Saint-Chris (Isère).	Maisson Perret et fils.
	de l'Oseraie (Vaucluse).	Maisson Perret et fils.
—	de Thann (Haut-Rhin).	Ch. Ketssner.
—	de Dieuze (Meurthe).	Cie des Salines de l'Est.

Il est en construction dans les usines de la Cie de Saint-Gobain, à Aubervilliers (Seine), de M. Kuhlman, à Lille (Nord), de M. Chouillou et Cie, à Rouen, ainsi qu'à Marennes.

Quel que soit le système de fours adoptés, ils sont généralement placés sur une même ligne et communiquent tous ensemble, ou séparement, à volonté, avec les chambres à acide sulfurique.

Ces communications sont établies à l'aide d'une grosse conduite en plomb.

Les départs des fours sont toujours en fonte, en raison de la haute température qui attaquerait le plomb.

A *Chessy*, à *Saint-Fons*, et généralement dans les usines de la Cie Perret, ces fours sont disposés autour d'une cheminée commune. Il y en a jusqu'à seize rayonnant autour de cette cheminée centrale. Les ouvertures des cendriers forment donc un cercle.

Dans quelques contrées, en Angleterre surtout, on utilise les pyrites menues ou en poudre de la façon suivante. On mélange la poudre des pyrites avec un peu d'argile, de façon à en faire des boulettes de 5 à 6 centimètres de diamètre, qu'on sèche ensuite avec la poudre des fours. Ces boulettes sont ensuite jetées dans le four comme si elles étaient composées de pyrites pures ; mais ce procédé est défectueux, en ce qu'il demande un espace de temps long, car la combustion de ces boules devient si lente, surtout vers la fin, qu'on perd toujours 5 à 6 p. 100 de soufre sur les 30 ou 40 que contient la pyrite.

Un autre système de fours également en usage en Angleterre, et qui donne, à ce qu'il paraît, de très-bons résultats, consiste en un four très-allongé (12 ou 15 mètres de long sur 2 de large) dont la sole est formée de plaques de fonte chauffées en dessous. Ce four est muni, aux deux extrémités, de deux grandes ouvertures, et, sur le côté, de huit ou dix petites portes latérales. Les pyrites criblées et réduites en poudre fine pour les petits morceaux, sont introduites dans ce four par la porte opposée à celle où se trouve le foyer qui chauffe la sole, et au moyen des petites portes latérales. A l'aide de râteaux, on fait avancer la couche de pyrite vers l'autre extrémité, au fur et à mesure de sa combustion.

Elle n'est d'abord exposée qu'à une chaleur modérée, mais en la poussant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

graduellement vers les parties les plus chaudes de la sole, elle ne tarde pas à s'enflammer et à produire le gaz acide sulfureux, qui est alors envoyé dans les chambres. — Le minerai ne doit être employé dans ce four qu'à l'état de poudre fine, pour arriver à un épuisement complet du soufre qu'il contient.

L'air y est admis par une ouverture pratiquée du côté du four qui chauffe la sole. Cette ouverture se règle à volonté, et en raison de la combustion plus ou moins active. Le grillage complet est effectué en trente-six heures. La charge de pyrite, ayant été amenée successivement sur le devant du four, le minerai de plus en plus désulfuré rencontre un air de plus en plus riche en oxygène et à une température qui s'élève régulièrement.

En examinant la marche de la combustion à travers les petites ouvertures latérales, on observe un développement abondant de vapeurs blanchâtres ; ces vapeurs sont de l'acide sulfurique anhydre.

D'après les observations de M. Wœhler, la formation de l'acide anhydre doit

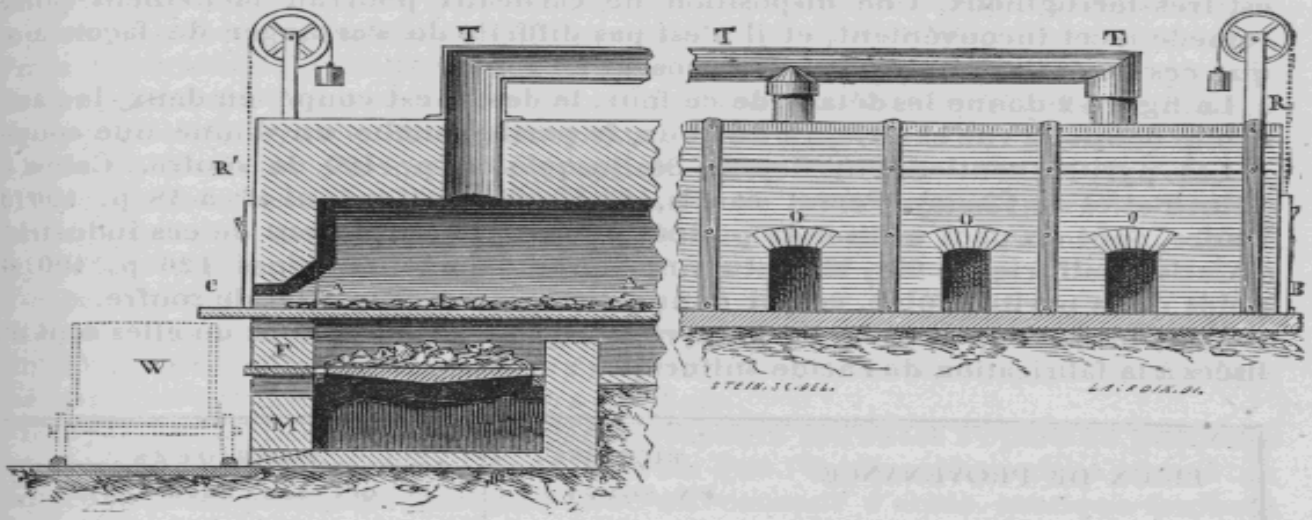


Fig. 2. — Four de M. Spence (V. page suivante).

L'introduction des pyrites réduites en poussière se fait par la porte B munie de la coulisse à contre-poids R.

Les ouvertures latérales O O O, au nombre de 8 à 10 dans la longueur du four, servent à faire avancer les poudres au moyen d'un râteau en fer.

La coupe du dessin donne la vue de la pyrite étalée en AA sur la plaque de fonte. Celle-ci est chauffée par le foyer F, dont le cendrier est figuré en M. Le carneau du fourneau règne sous toute la longueur du four : la cheminée de ce foyer n'est pas indiquée au dessin.

L'extraction de la pyrite brûlée se fait par la porte C, analogue à celle B et, comme elle, munie d'une coulisse à contre-poids R'.

Cette pyrite, que l'on extrait avec un râteau en fer, tombe dans un wagon W figuré en pointillé.

Le gaz acide sulfureux se dégage enfin par les tubes en fonte TTT, qui le conduisent dans les chambres de plomb.

La longueur totale du four est de 12 à 15 mètres, ses dimensions intérieures sont de 1m,30 de haut sur 1m,50 à 2 mètres de large.

être attribuée aux effets suivants : à la température rouge (+ 700 à + 800°) de la plaque de fonte de la salle du four, il se forme de l'oxyde, du sulfure et du sulfate de fer, aux dépens non-seulement de la matière de cette sole, mais surtout aux dépens de la pyrite même, et la présence de cet oxyde détermine la combinaison immédiate de l'acide sulfureux avec l'oxygène emprunté à l'air et introduit dans le four. M. Hoffman attribue, au contraire, cette formation au sulfate de fer, qui prendrait naissance dans les parties les moins chaudes du four,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où la température est la plus élevée. L'acide anhydre serait alors formé comme dans la fabrication de *Nordhausen*.

Quelle que soit l'origine de ces vapeurs blanches, il est hors de doute que cette formation d'acide sulfurique anhydre, concurremment avec la production de l'acide sulfureux, n'amène dans les chambres qu'une quantité d'acide sufurique tout formé, et évite ainsi l'emploi d'une proportion correspondante d'acide nitrique, puisqu'il n'y a plus besoin d'oxyder l'acide sulfureux transformé ainsi partiellement et directement en acide sulfurique.

Ce four, dû à M. *Spence*, présente donc, sous tous les rapports, des avantages tels que nous avons cru utile d'en donner un dessin. (Voir page précédente.) Il nous semble bien préférable à celui de MM. Perret et fils, malgré le grand entretien qu'il exige.

Mais on prétend, à son désavantage, qu'il entraîne des poussières légères d'oxydes métalliques dans les chambres, et qu'alors l'acide sulfurique produit est très-ferrugineux. Une disposition de carneaux pourrait facilement porter remède à cet inconvénient, et il n'est pas difficile de s'arranger de façon à ce que ces poussières de pyrites se déposent en route.

La figure 2 donne les détails de ce four, le dessin est coupé en deux, la partie droite donne la vue extérieure du four, la partie gauche en donne une coupe.

Les pyrites contiennent depuis 30 jusqu'à 50 p. 100 de soufre. Celles de Saint-Bel et de Chessy (Perret et fils, de Lyon) contiennent 47 à 48 p. 100 de soufre, dont on peut utiliser 43 p. 100, puisque le rendement de ces industriels en acide sulfurique, 66°, atteint en moyenne dans leurs usines 126 p. 100 du poids de la pyrite brûlée, ce qui donnerait environ 42 p. 100 de soufre.

Voici les principales sources de pyrites exploitées, et les lieux où elles sont utilisées à la fabrication de l'acide sulfurique :

LIEUX DE PROVENANCE.	RICHESSE EN SOUFRE.	FABRIQUES QUI LES EMPLOYENT.
FRANCE : Chessy, St-Bel (Rhône).	45 à 47	Lyon, l'Alsace, Paris, le centre de la France.
— Département du Gard.	33 à 40	Marseille, Bordeaux.
BELGIQUE : Province de Liége (Rocheux, Oneux).....	35 à 50	Belgique, Angleterre, St-Gobain, nord de la France.
ANGLETERRE : Cornouailles, Écosse, Wicklow.....	30 à 35	Royaume-Uni.
ALLEMAGNE : Hartz, Bohême, Prusse, Saxe.....	30 à 35	Toute l'Allemagne.
ESPAGNE : Huelva, Santander...	42 à 50	Espagne, Angleterre et Belgique.
PORTUGAL.....	40 à 45	Portugal, Angleterre et Belgique.

Il en existe en outre en France, dans l'Auvergne, dans le bassin de l'Oise, en Bretagne, dans les Cévennes et surtout dans la chaîne des Pyrénées. — Aucun gisement n'est exploité.

En Espagne et en Allemagne, les gisements de pyrites sont pour ainsi dire inépuisables, la plupart ne sont pas exploités.

M. Pelouze a indiqué un procédé simple et rapide pour l'essai des pyrites. On en trouvera le détail dans les comptes rendus de l'Académie des sciences.

On calcine ensemble 4 grammes de pyrites avec 5 grammes de chlorure de sodium, 7 grammes de chlorate de potasse et 5 grammes de carbonate de soude andydre.

L'acide sulfurique formé par oxydation du soufre dégage une quantité pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

portionnelle d'acide carbonique, qu'il n'y a plus qu'à doser. Ce dosage s'opère en déterminant par la méthode alcalimétrique la quantité de carbonate de soude qui reste dans la solution obtenue par le lavage du mélange ci-dessus calciné. La différence entre la quantité d'acide nécessaire pour saturer le liquide et celle qu'il faudrait pour saturer la quantité alcalimétrique de 5 centigrammes de soude, est équivalente à la quantité totale d'acide sulfurique formé, et par conséquent à la quantité de soufre contenue dans la pyrite expérimentée.

VI

Malgré les nombreuses tentatives faites pour remplacer les chambres de plomb, toujours très-coûteuses de premier établissement et d'un entretien assez dispendieux, on n'a encore encore rien trouvé à leur substituer. Un chimiste belge, M. *Verstraet*, a bien organisé à Lyon et à Paris une série de bonbonnes en grès dans lesquelles les gaz se condensent sur du coke lavé ; mais, avant de pouvoir se prononcer sur le mérite de ce système, il faut attendre les résultats d'une expérience qui ne peut se faire qu'avec le temps. Néanmoins, en raison de l'importance de ce procédé, nous donnerons plus loin quelques détails sur ces appareils de construction économique.

Nous ne décrirons pas ici la construction d'une fabrique d'acide sulfurique, à l'aide de chambres en plomb ; mais, pour faire mieux comprendre les modifications tentées, il sera utile de rappeler en quelques mots comment sont établis aujourd'hui les appareils perfectionnés. On sait qu'il existe des chambres dont la capacité atteint 4,000 mètres cubes.

Généralement la fabrication s'opère dans cinq chambres, une grande chambre centrale, deux petites en avant dites : *premier et deuxième tambour*, et deux petites chambres en arrière, dites : *tambours en queue*.

L'oxydation de l'acide sulfureux par les vapeurs nitreuses s'opère de plusieurs manières, soit en s'arrangeant de façon à ce que l'acide sulfureux se trouve en contact dans les premiers tambours avec un courant d'acide azotique tombant en cascade au centre de ce tambour, soit en produisant l'acide azotique dans le four à soufre même, au moyen d'azotate de soude et d'acide sulfurique.

Les deux systèmes ont leurs partisans et leurs détracteurs. La décomposition du nitrate de soude dans le four à soufre a sans doute l'avantage de la simplicité ; mais il nous a toujours semblé préférable d'établir une cascade d'acide azotique dans le tambour, et ce système nous a toujours donné de meilleurs résultats ; dans ce cas, la seule difficulté à remplir consiste à obtenir une assez grande surface d'acide azotique exposée au courant de gaz acide sulfureux.

Lorsqu'au contraire on décompose le nitrate de soude par l acide sulfurique, on dispose le mélange dans le four à combustion, soit dans des marmites en fonte glissant sur un chemin de fer établi dans le four même, soit dans des boîtes ou caisses en tôle supportées de chaque côté du four sur une maçonnerie en briques, et glissant comme auparavant sur deux barres de fer. Ces caisses ne sont chauffées que par le coke ; mais, en raison de la température du four et de celle produite par la réaction, la chaleur est toujours assez forte pour opérer complétement la transformation de l'azotate de soude en sulfate, et par conséquent le dégagement de l'acide azotique ou de ses composés.

La décomposition étant terminée, ces marmites ou ces tiroirs sont remplacés par d'autres, chargés de mélange nouveau.

Dans une seule usine, nous avons vu mélanger directement le nitrate de soude à la charge de soufre et verser le tout ensemble sur la sole du four.

Nous ne citons ce fait que pour faire voir combien les méthodes varient, sans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conseiller en aucune façon ce procédé, car le mélange de soufre et d'azotate de soude peut constituer des mélanges détonants, excessivement dangereux, indépendamment d'une mauvaise utilisation de cet azotate au point de vue du dégagement des vapeurs nitreuses.

La cascade, ou tout autre appareil à surface, se place de préférence dans le second tambour. L'acide azotique s'écoule continuellement d'un tube en verre communiquant avec un petit réservoir jaugé et placé à l'extérieur du tambour. En tombant sur un vase conique en grès, il s'écoule dans une suite de vases superposés ou de plateaux sur lesquels on a pris soin de laisser des arêtes, ou des parties saillantes, pour empêcher l'écoulement prompt du liquide. L'acide azotique non décomposé au contact du courant de vapeur d'eau et de gaz acide sulfureux, est recueilli sous le tambour, pour être utilisé de nouveau.

Les gaz passent alors dans la grande chambre, où plusieurs jets de vapeur viennent non-seulement apporter la quantité d'humidité nécessaire à la formation de l'acide sulfurique, mais encore agir mécaniquement en produisant un tourbillonnement favorable au mélange des gaz et à la facilité de leurs réactions. L'acide formé tombe en pluie sur le sol de la chambre. Généralement, sa densité est de 42° à 48°.

Les gaz non condensés passent ensuite dans le premier tambour en queue, puis dans le second, avant de pénétrer dans la colonne *dénitrante* de Gay-Lussac. Chacun de nos lecteurs, au courant de la fabrication de produits chimiques, sait que cet appareil a pour but de reprendre aux gaz perdus l'acide hypo-azotique qu'ils pourraient, sans lui, entraîner dans l'atmosphère, au grand préjudice du fabricant d'acide sulfurique, qui y perd un produit utilisable, et compromet alors la végétation dans le voisinage de son usine. A l'aide de cette colonne, le fabricant d'acide ne doit laisser échapper que de l'azote et de l'oxygène ; son établissement, bien conduit, devient donc sans inconvénient pour les voisins.

Nous n'entrerons pas dans de plus longs détails sur la fabrication ordinaire de l'acide sulfurique dans le grand appareil à plusieurs chambres ou tambours. Chacun sait que l'on ne recueille généralement que l'acide sulfurique formé dans la grande chambre, et que tout ce qui se dépose dans les deux premiers tambours, comme dans les deux derniers, s'écoule dans la grande chambre, dont le fond est toujours un peu moins élevé que celui des tambours. L'acide chargé de vapeurs nitreuses, et provenant de la colonne de Gay-Lussac, est envoyé dans le premier tambour, où il est exposé au contact du gaz acide sulfureux de la même façon que l'acide azotique.

Dans quelques usines, on a tenté avec succès de remplacer la colonne de nitrate de Gay-Lussac par une série de bonbonnes à moitié pleines d'acide sulfurique concentré, à la surface desquelles on fait circuler les derniers gaz sortant des chambres.

Nous ne voyons aucun avantage à cette substitution, le principe est toujours le même, il s'agit toujours de mettre en contact l'acide sulfurique concentré (celui ayant une densité égale à 1,75 suffit même) avec les vapeurs nitreuses. A cette densité, l'acide sulfurique absorbe facilement toutes ces vapeurs, qu'on lui fait abandonner ensuite en affaiblissant la solution et la portant à une température voisine de + 100°.

Les vapeurs d'acide hypo-azotique, ainsi dégagées dans le premier tambour même, comme nous l'avons dit plus haut, servent de nouveau à l'oxydation du gaz acide sulfureux, et viennent ainsi de nouveau concourir à la production de l'acide sulfurique.

Nous avons dit, en commençant ce chapitre, que toutes les tentatives faites

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour remplacer les chambres en plomb n'avaient encore donné aucun bon résultat, et que les appareils de M. Verstraet étaient encore en expérimentation.

La substitution de matériaux inattaquables au plomb aurait non-seulement l'avantage de fournir des appareils moins coûteux, mais encore de permettre d'obtenir des acides exempts de sels de plomb.

Le grès, la pierre de lave, l'ardoise, n'ont donné que de mauvais résultats, en raison de la difficulté, ou plutôt de l'impossibilité de faire les joints de ces matériaux.

La gutta-percha a été également essayée, mais non-seulement cette matière coûte infiniment plus cher que le plomb, mais, en outre, elle a l'inconvénient de se détériorer au contact prolongé des vapeurs nitreuses.

Dès 1846, M. Fouché-Lepelletier avait organisé, à l'usine de Javel, près Paris, un appareil en grès composé d'une série de tuyaux et de bonbonnes dont nous trouvons la mention détaillée dans le rapport officiel du jury de l'Exposition de 1851. On prétend que le jury a été induit en erreur, et que cet appareil n'a jamais fonctionné d'une façon régulière.

Le rapport constate cependant qu'on aurait obtenu, à l'aide de cet appareil, plus d'un million de kilogrammes d'acide sulfurique ; quoi qu'il en soit, il a cessé de fonctionner. Ce ne serait pas, du reste, la première fois qu'un jury officiel eût constaté et appuyé de toute son autorité un fait erroné, et cela servirait, au besoin, une fois de plus à prouver combien les industriels et le public doivent peu se préoccuper des décisions de juges, certainement toujours de bonne foi, mais auxquels les administrations des Expositions n'accordent que quelques jours pour se prononcer sur le mérite de milliers d'exposants.

Nous ne cesserons de le dire, surtout lorsqu'il s'agit de produits chimiques, un jury ne peut prononcer aucune décision valable sans avoir accompli la visite détaillée des usines.

Sans vouloir retirer aucun mérite aux travaux de M. Verstraet, il est hors de doute que les essais de M. Fouché-Lepelletier ont pu lui servir de point de départ. L'appareil Verstraet consiste en une série de bonbonnes en grès superposées en colonnes. Douze colonnes, comprenant ensemble soixante bonbonnes, sont susceptibles, au dire de l'inventeur, de produire, par vingt-quatre heures, 1,000 kilogrammes d'acide sulfurique à 50°.

Voici comment il explique lui-même les avantages de son système :

L'acide sulfurique a aujourd'hui des emplois si multiples et si considérables dans tous les arts, que l'importance de sa consommation est devenue, non moins que celle du fer et de la houille, le signe certain de la richesse industrielle d'un pays.

Portée depuis longtemps à un haut degré de perfection théorique et pratique, mais monopolisée en quelques mains puissantes, la fabrication de cet utile agent est restée jusqu'ici, il faut bien le dire, dans des conditions presque barbares au point de vue d'une sage économie industrielle et des légitimes intérêts d'une aussi importante consommation.

De nos jours, en effet, une industrie qui se borne à produire des acides à deux ou trois degrés différents, malgré les besoins multiples de tant d'applications diverses, et qui laisse, en sus du lourd tribut qu'elle prélève, supporter à ses produits des frais relativement énormes, d'emballage, de déchets et de transports, devrait par cela même appeler tous les efforts en faveur d'une transformation qui s'est fait bien longtemps attendre, mais qui vient largement répondre enfin à tant de graves intérêts.

Supprimer d'un seul coup les immenses chambres de plomb, leurs frais énormes d'installation et d'entretien, et les causes d'insalubrité que leur fonctionnement comporte ; vulgariser, d'autre part, au moyen d'un appareil d'un petit volume et peu dispendieux, une fabrication appropriée aux besoins de chaque consommation, tel a été l'objet des efforts de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Verstraet, efforts dont le plein succès, industriellement constaté aujourd'hui, ne peut plus être mis en doute par personne.

D'une simplicité extrême, facile à transporter et à être placé en tous lieux, d'une durée illimitée malgré la modicité de son prix, l'appareil imaginé par M. Verstraet peut produire chaque jour, *à vase clos et sans émanation d'aucune odeur*, soit 1,000 kilogrammes environ d'acide sulfurique de 50 à 52 degrés, soit une quantité équivalente en produits extraits à volonté au titre approprié à chaque application.

Utilisant jusqu'à la dernière trace des gaz sulfureux et nitreux, il permet à chacun de produire désormais, *sans capital* en quelque sorte, et *sans risque* par conséquent, l'acide sulfurique au même prix qu'avec les vastes chambres de plomb, et même beaucoup au-dessous, et il réalise enfin, au profit de nos principales industries, l'affranchissement du tribut qu'elles ont payé jusqu'ici aux usines qui ont centralisé cette fabrication.

Parmi les nombreux industriels qui emploient l'acide par quantités importantes, il n'en est pas un seul, en effet, qui n'ait recherché depuis longtemps les moyens d'obtenir cet affranchissement, et si cette amélioration n'a pu être réalisée jusqu'à présent que par un petit nombre, on doit l'attribuer uniquement aux dépenses considérables qu'entraîne la construction des appareils ordinaires et à la difficulté souvent très-grande de les introduire dans des usines existantes, à cause de leur volume et de leur insalubrité.

Mais, aujourd'hui, ces obstacles n'existent plus.

Moyennant une dépense modique, chaque industriel pourra installer chez lui, à l'avenir, suivant l'importance de ses besoins, un ou plusieurs appareils nouveaux, et diminuer ainsi de moitié sa dépense annuelle en acide, en produisant cet agent par un procédé simple et facile dont les principaux avantages peuvent se résumer ainsi :

1° *Économie immense sur les frais d'installation ;*

2° *Appareil d'un petit volume pouvant être placé facilement en tous lieux ;*

3° *Suppression presque complète de frais de réparation et d'entretien ;*

4 *Aucune mauvaise odeur, aucune fuite possible, et, par suite, suppression de toute cause de perte et d'insalubrité ;*

5° *Production à volonté d'acide à tous les degrés au-dessous de* 53, *avec un surcroît de rapidité et d'économie ;*

6° *Enfin, suppression complète des emballages et des frais de transport.*

L'acide sulfurique mis à la portée de toutes les industries, de tous les centres de consommation et de toutes les fortunes, l'acide produit par chacun au degré qui lui convient non-seulement au plus bas prix de revient possible, mais dégagé de tous les frais accessoires qui ont grevé le consommateur jusqu'à présent ; tel est, comme on le voit, l'important problème dont la solution est due aux travaux persévérants de M. Verstraet.

Comme on le voit, M. Verstraet promet beaucoup, et, fait tout aussi important, soutient que l'installation d'un appareil, produisant 1,000 kilogrammes d'acide à 50° par vingt-quatre heures, n'entraîne qu'une dépense de 6,000 francs.

Il est probable que M. Verstraet ne comprend pas dans ce prix la construction du four à soufre ou à pyrites ; mais, en tout cas, la dépense nous semble bien minime, même non compris le four, et si, comme il l'annonce, ses résultats sont certains, il est hors de doute que de nombreux industriels s'empresseront d'établir ses appareils, qui représente la figure 3 de la page suivante.

Cinq bonbonnes en grès superposées et communiquant entre elles constituent une colonne. La bonbonne inférieure M, assez analogue à une tourie ordinaire destinée au transport de l'acide, possède, à 5 ou 6 centimètres du fond, un petit robinet *r*. Elle est munie de deux grosses tubulures : une première tubulure centrale d'environ 0m,25 de diamètre communique avec la bonbonne supérieure. Une seconde tubulure latérale, ayant à peu près le même diamètre, communique à l'aide d'un tuyau coudé avec une autre colonne.

La deuxième N, la troisième O et la quatrième P bonbonne de la colonne M sont toutes semblables. On pourrait à la rigueur les considérer comme formant un seul gros tube; elles sont percées haut et bas de deux larges ouvertures. La bonbonne supérieure R possède une large ouverture qui la met en communication avec la colonne suivante par le moyen d'un tuyau coudé. A côté de cette grande ouverture, s'en trouve une petite *r*. Ces bonbonnes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont assemblées entre elles ou avec les tuyaux coudés au moyen de joints hydrauliques, c'est-à-dire que l'ouverture supérieure d'une bonbonne est garnie d'une double collerette en grès dans laquelle on met de l'eau. La bonbonne ou le tuyau qui viennent s'assembler avec la précédente, possède au contraire un seul filet saillant qui vient précisément s'engager entre les deux filets ou collerette de l'autre.

On comprend que 3 à 4 centimètres d'eau interposée s'opposent au passage du gaz (du moment où il n'y a pas de pression dans l'intérieur) et fassent un joint d'autant plus com-

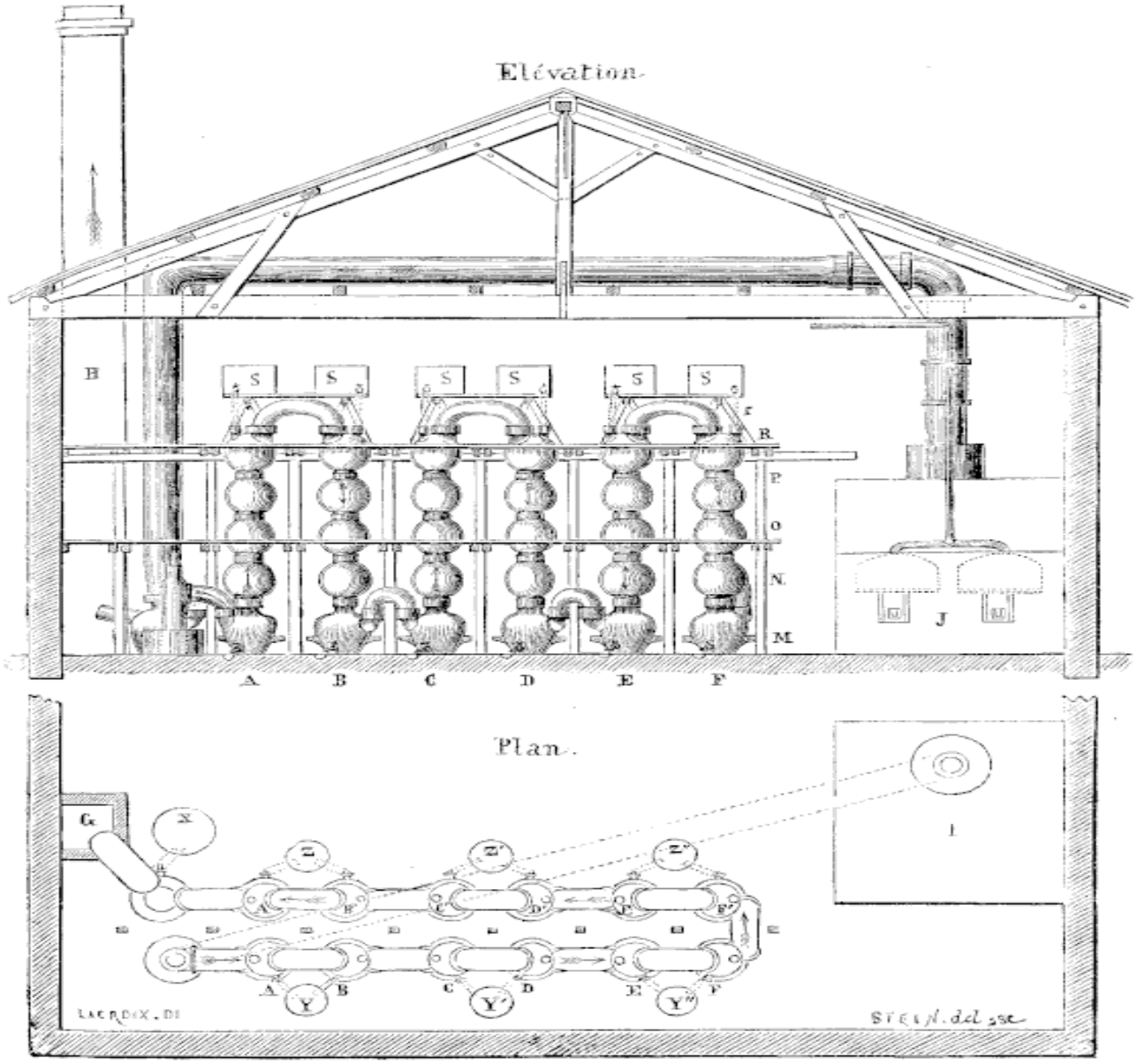


Fig. 3.

mode qu'il n'y a qu'à y verser de temps en temps un peu d'eau pour l'entretenir en bon état.

Toutes les colonnes ABCDEF et A'B'C'D'E'F' se ressemblent et sont composées de la même façon, la première A en communication avec le gros tuyau amenant l'acide sulfureux du four à soupe. La dernière A' communique au contraire avec une cheminée d'appel.

Au pied de chaque double rangée de colonnes, se trouvent de petits réservoirs en grès, enterrés au niveau du sol et recevant le liquide qui s'écoule des colonnes. Ces réservoirs non indiqués au plan en élévation sont figurés en YYY et ZZZ au plan par terre.

Enfin un dernier réservoir X, un peup lus grand que les autres, reçoit ce qui s'écoule de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la dernière série de bonbonnes, c'est la colonne dénitrante à la façon de celle imaginée par Gay-Lussac.

A la partie supérieure, et au-dessus de chaque colonne sont placés de petits réservoirs SSS en grès ou en plomb. Chacun de ces réservoirs possède un robinet et un tuyau en communication avec la petite ouverture Z de chaque bonbonne supérieure.

La vue du dessin complétera les explications qui pourraient sembler douteuses.

Les bonbonnes NOPR de chaque colonne sont remplies de coke lavé ; la bonbonne inférieure M ainsi que les tuyaux de communication restent vides.

Voici la façon d'opérer :

Le gaz acide sulfureux est produit par les moyens ordinaires dans le four à combustion indiqué au dessin. Les gaz nitreux sont dégagés dans le four même, et celui-ci est surmonté d'un petit générateur de vapeur, pour fournir à ces gaz la quantité d'humidité indispensable à la formation de l'acide sulfurique.

Ces gaz s'élèvent dans un tuyau en fonte placé au-dessus du four à combustion, puis suivent, avant d'arriver aux bonbonnes, un assez long tuyau en plomb dans lequel ils se refroidissent. Des flèches tracées aux dessins indiquent la marche que ces gaz suivent. Après avoir traversé une première bonbonne dans laquelle on peut placer l'acide azotique liquide, si l'on ne produit pas le gaz nitreux dans le four, ou dans laquelle on amène en tout cas le produit chargé en vapeurs nitreuses, de la colonne de Gay-Lussac, ces gaz s'engagent dans la première colonne A.

Mettant à profit le fait bien connu de la combinaison des gaz en présence d'un corps poreux (éponge de platine), M. Verstraet, appliquant encore ici à la condensation de ses gaz la construction de la colonne dénitrante de Gay-Lussac, a rempli ses bonbonnes de coke lavé. Ce coke a été, au préalable, parfaitement débarrassé par plusieurs lavages de toutes matières goudronneuses, et il a été choisi parmi les morceaux poreux.

Un courant d'acide sulfurique faible s'écoule constamment du réservoir S, de façon à ce que le coke en soit toujours imprégné ; le mélange du gaz acide sulfureux, des gaz nitreux et de la vapeur d'eau, en présence du coke humide et divisé à l'infini, se combine et se condense en acide sulfurique faible en densité, qui tombe au fond de la bonbonne inférieure.

Les gaz non condensés dans la colonne A passent dans la suivante B, puis dans la troisième C, où le même effet de formation et de condensation se produit. Chaque colonne travaille donc de la même façon.

Toutes les bonbonnes inférieures des colonnes se trouvent donc constamment contenir de l'acide sulfurique à des densités différentes.

Ces acides sont recueillis dans les réservoirs Y'Y'Y'' Z Z'Z'', d'où ils sont remontés dans les réservoirs SS.SS.

On comprend qu'il est toujours facile de faire tomber les acides les plus forts en densité sur les premières colonnes, là où les gaz sont les plus riches, de façon à n'obtenir pour résultat final que de l'acide sulfurique à 45 et même à 50 degrés.

Pour simplifier la main-d'œuvre, l'acide sulfurique faible peut être remonté des bassins Y ou Z dans les bassins S, à l'aide d'un monte-jus en plomb, ou en pierre de lave ; mais ce monte-jus ne peut, en raison de la condensation, fonctionner par la pression de la vapeur ; il faut absolument l'intervention de l'air comprimé et d'une pompe à air.

Ces accessoires doivent certainement augmenter les frais de premier établissement indiqués par M. Verstraet ; mais, en portant son chiffre de 6,000 francs au double, nous pensons qu'il serait possible d'établir cet appareil.

Sans vouloir nous prononcer d'une façon absolue sur le mérite ou sur les inconvénients de ce système, nous avons cru devoir le signaler comme un fait nouveau, ayant une importance réelle ; car, si la pratique ne vient pas prouver le contraire, nous ne voyons pas, en l'examinant bien, pourquoi cet appareil ne fonctionnerait pas régulièrement.

Il rendrait alors les plus grands services à l'industrie générale, et contribuerait certainement à abaisser d'un tiers, et même de moitié, le prix de l'acide sulfurique, en permettant à chaque consommateur de le produire sans frais et au fur et à mesure de ses besoins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour celui qui aura besoin d'acide en dessous de 60°, et c'est là le cas général, l'appareil Verstraet sera utilisable, car il est toujours facile d'amener, dans une simple bassine en plomb, l'acide sulfurique, de 45 à 50 degrés, à avoir une densité égale à 60° ; les grandes usines concentrent du reste toujours dans le plomb, jusqu'à 60° et même 62°.

VII

L'acide sulfurique, au sortir des chambres en plomb, ne dépasse généralement pas la densité de 45 à 50 degrés. Lorsqu'il ne doit pas être consommé dans l'usine même ou dans son voisinage immédiat, comme lorsqu'il s'agit, par exemple, de la transformation du sel marin en sulfate de soude, il est nécessaire, pour éviter des frais considérables de vases et de transports, de lui enlever toute l'eau possible, et de l'amener au volume le plus réduit, c'est-à-dire de le concentrer.

Beaucoup d'industries exigent encore l'emploi d'un acide concentré à 66°, et amené à un grand état de pureté ; il faut donc, dans ce cas, non-seulement le concentrer, mais le purifier.

Malgré tous les soins pris pendant sa fabrication, l'acide sulfurique, sortant des chambres, est toujours impur. Il contient toujours du gaz nitreux, et, lorsqu'il a été obtenu par la combustion des pyrites, il contient du plomb, du fer, du sélénium, du thallium [1], et surtout de l'arsenic.

Cette dernière matière présente seule de graves inconvénients, non-seulement au point de vue des préparations auxquelles l'acide sulfurique peut servir indirectement, et dans lesquelles on a pu déjà reconnaître la présence de ce corps, mais, en outre, l'acide sulfurique contenant de l'arsenic vient contrarier beaucoup d'emplois industriels. Nous n'en citerons qu'un exemple : dans la fabrication du fer-blanc, l'étamage de la tôle est impossible, lorsque le bain de décapage contient la moindre trace d'arsenic ; ce corps se déposant en poudre noirâtre sur la tôle, empêche le contact et l'adhérence de l'étain.

M. *Hunt*, en Angleterre, précipite l'arsenic en introduisant dans l'acide sulfurique un courant d'hydrogène sulfuré ; à Lyon, c'est à l'aide de l'ébullition prolongée avec du sel marin : au lieu de former des sulfites, comme dans le procédé de M. Hunt, ce sont des chlorures qui se produisent. En Allemagne et en Angleterre, on a essayé, sans grand succès, de séparer de l'acide arsénieux avant son introduction dans les chambres, en interposant entre les fours à pyrites et l'entrée des tambours des séries de tuyaux en plomb dans lesquelles l'acide arsénieux se condense. M. Buchman a remplacé ces tuyaux par une petite chambre en plomb, et a obtenu de meilleurs résultats ; mais cette combinaison a le double désavantage de refroidir à l'excès le gaz acide sulfureux, et de nuire à l'appel ou au tirage dans le dernier tambour. Cet inconvénient existe surtout dans les petites fabriques. Il est moins sensible dans une grande fabrication, où la masse des produits gazeux accumule une grande chaleur.

Le fabricant d'acide sulfurique a cependant lui-même un grand intérêt à empêcher toute introduction de produits arsénieux dans ses chambres, car celles-ci se détériorent rapidement sous l'influence de cet agent : on ne saurait trop appeler leur attention à ce sujet.

Au commencement de la fabrication par les pyrites, les industriels ont été

[1] Le sélénium et le thallium ont même été découverts dans l'examen des produits qui se déposent dans l'intérieur des chambres de plomb.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

surpris de voir leurs chambres de plomb durer trois ou quatre fois moins de temps que lorsqu'ils brûlaient du soufre, et c'est principalement à la présence de l'arsenic qu'il faut attribuer ce résultat fâcheux.

On n'a encore rien trouvé pour séparer économiquement et *complétement* l'acide arsénieux de l'acide sulfurique ; la meilleure méthode consiste toujours à brûler du soufre quand on a pour but d'obtenir de l'acide pur : l'Exposition ne nous a rien appris à ce sujet.

La séparation des gaz nitreux présente moins de difficulté : il s'agit de laisser en contact prolongé l'acide sulfurique impur avec un courant de gaz acide sulfureux ; on peut même interposer, entre le four à soufre et la première chambre, un conduit ouvert sur lequel on fait passer le courant de gaz acide sulfureux. Cette méthode ne peut être employée dans la fabrication par les pyrites, car alors l'arsenic se déposerait : on purifierait d'un côté l'acide sulfurique en lui enlevant les gaz nitreux, mais on l'altérerait d'un autre en lui laissant absorber une proportion d'arsenic.

Si l'on brûle les pyrites, il est donc essentiel d'avoir un petit four à soufre, pour soumettre avant la concentration l'acide sulfurique sortant des chambres à un courant d'acide sulfureux.

Quant aux sels de plomb, de fer, ils ne présentent que de légers inconvénients dans les emplois industriels de l'acide sulfurique. Les sels de plomb peuvent se déposer par leur propre poids en laissant l'acide en repos et en le soutirant avec précaution. — La séparation du fer est plus difficile.

L'acide pur ne peut être obtenu qu'en distillant lentement et qu'en fractionnant les produits, les premiers et les derniers n'étant jamais purs, comme cela arrive dans toute opération de distillation.

La concentration de l'acide sulfurique s'opère de deux façons, la cornue en verre et l'appareil en platine; en France, en Belgique et en Allemagne, on concentre exclusivement dans ces vases en platine dont le prix est si coûteux. En Angleterre, après avoir abandonné la cornue en verre, beaucoup de fabricants y sont revenus et ont laissé de côté l'appareil de platine.

Nous indiquerons un nouveau système très-simple, dû à M. *Cotelle*, fabricant français, et nous passerons en revue tout ce qui a été essayé ou proposé pour arriver à cette opération délicate. Nous ne trouvons à l'Exposition universelle que des vases de platines. Deux maisons françaises, M. Chapuis et une maison anglaise, MM. Johnson, Mathey et C^ie^, de Londres, y ont envoyé de magnifiques appareils. L'exposition de ces fabricants anglais attirait tous les regards par la masse de platine renfermée dans leurs vitrines.

Citons un immense appareil susceptible de concentrer huit tonnes (8,000 kilog.) d'acide sulfurique par jour, appareil dont la valeur ne dépasse cependant pas environ soixante-dix mille francs, grâce à leur système de construction. A côté d'autres alambics de dimensions moindres, des syphons, des tuyaux, des creusets, de l'éponge, du magnésium pur et étiré, nous montrent quelles ressources ces grands fabricants peuvent offrir aux sciences et aux industries chimiques.

Cette exposition, la plus curieuse certainement en son genre, avait une valeur dépassant un demi-million, et la commission anglaise avait fait avec raison placer un gardien spécial auprès de la vitrine de MM. Johnson, Mathey et C^ie^.

Tous les instruments de cette maison sont soudés autogénement, c'est-à-dire avec du platine pur. C'est ce qui rend les appareils anglais supérieurs aux nôtres ; cependant, ceux envoyés par la maison Chapuis ne laissaient rien à désirer.

L'exposition russe (C^ie^ de l'Oural) ne nous offrait qu'un appareil de petite dimension et mal agencé.

Nous n'avons trouvé aucune cornue en verre destinée à la concentration des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

acides, et c'est en dehors de l'Exposition qu'il nous faut aller chercher l'appareil de M. *Cotelle*.

On a d'abord commencé par concentrer l'acide sulfurique au moyen de grandes cornues en verre placées chacune dans une marmite en fonte chauffée par dessous et formant bain de sable. Une double rangée de cornues, placées dos à dos, au nombre de vingt-quatre et même davantage, était chauffée par un seul foyer dont la flamme léchait les deux rangées de marmites. Les produits de la distillation s'écoulaient de chaque cornue directement dans une bonbonne.

On modifia ensuite ces dispositions, et le chauffage fait avec plus d'économie permit de réduire sous ce rapport les frais, mais la casse des cornues ainsi que les pertes d'acides n'étaient pas évitées. On remplaça le bain de sable par un simple lut argileux (exempt de chaux) et mélangé avec de la paille hachée et de la fiente de cheval. On réduisit ainsi considérablement les chances de casse des cornues, et ce système est encore employé dans beaucoup d'endroits. Une ou deux fabriques seulement en font usage en France.

Nous avons dit qu'en Angleterre on en était revenu, dans beaucoup d'usines, à la concentration dans le verre.

Les cornues doivent être en verre mou, presque malléable à haute température ; ce verre est à base de plomb. Leur épaisseur doit être bien égale. Leur forme est généralement celle d'un cylindre allongé d'environ $0^m,90$ de long sur $0^m,47$ à $0^m,50$ de diamètre, et d'une capacité de 140 à 150 litres. Chaque cornue peut donner par opération 150 kilogrammes d'acide sulfurique concentré. On en est revenu en Angleterre au bain de sable. Le fourneau est construit avec des plaques de fonte chauffées en dessous, et constitue une grande auge pleine de sable, dans lequel sont aux trois quarts enterrées les cornues. Une chape en grès recouvre extérieurement chaque cornue, afin de la mettre à l'abri du moindre courant d'air. La cornue ne se déplace que lorsqu'elle est brisée ; son chargement et sa vidange s'opèrent à l'aide d'un syphon qui amène l'acide à la température élevée voisine du point de distillation, qui enlève de même les produits concentrés.

L'atelier est soigneusement clos pour empêcher tout courant d'air froid qui viendrait briser la partie supérieure des cornues, et l'on y entretient constamment une température élevée, présentant malheureusement d'assez graves inconvénients pour la santé des ouvriers employés à ces travaux.

On est ainsi parvenu à concentrer l'acide sulfurique avec des frais de fabrication inférieurs à ceux causés par le système de l'appareil en platine, car ce dernier appareil est sujet à de fréquentes et coûteuses réparations. Un ouvrier maladroit ou peu soigneux peut en quelques opérations laisser mettre l'appareil hors de service.

C'est ici le cas de combattre une erreur généralement répandue parmi les industriels. Ces derniers, et avec eux beaucoup de savants, pensent que l'acide sulfurique concentré à 66° provient de la distillation de l'acide, c'est-à-dire de sa transformation en vapeurs refroidies et condensées, et qu'alors il doit être pur.

Les appareils en platine peuvent bien distiller et sont généralement construits pour distiller l'acide, mais le fabricant ne pousse que rarement son opération jusqu'à la distillation ; il chauffe l'alambic pour en chasser toute l'eau (entraînant avec elle un peu d'acide sulfurique) et arrête la distillation au point où l'acide pur commencerait à distiller, c'est-à-dire lorsque le réfrigérant indique 50° à 55°.

L'acide qui reste dans l'alambic marque bien à l'aréomètre 66°, quoiqu'il n'ait jamais une densité exactement correspondante à cette graduation de l'instrument : ce devrait être le degré correspondant au maximum de concentration,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et cependant la concentration n'est pas arrivée à ce point. L'anomalie apparente tient à ce que l'acide commercial, obtenu dans les conditions ci-dessus, sert lui-même pour marquer le degré 66 de la graduation des aréomètres ordinaires des opticiens.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur la construction des appareils en platine pour la concentration de l'acide. Nous n'aurions aucune modification importante à y signaler, et on trouve la description de ces alambics dans tous les traités de chimie. Citons néanmoins un perfectionnement notable dû à MM. Johnson et Mathey, et qui leur a permis de construire des appareils avec une dépense de platine moins considérable. Les alambics de ces constructeurs ont la forme d'un cône très-large à la base et à parois très-inclinées. Le fond seul de cet appareil étant exposé au contact du feu, les autres parties ont pu être amincies sans inconvénients, à un point tel que le poids total de l'appareil a pu être réduit à plus des deux tiers de celui d'une capacité correspondante.

L'usure des alambics en platine est très-considérable. Si la concentration n'est pas continue, l'intermittence dans la fabrication amène des séries de refroidissements qui contractent les parois du vase et y forment des plis qui ne tardent pas à devenir des fentes ou déchirures.

L'acide sulfurique attaque déjà et dissout lui-même le platine, mais l'acide impur produit une cause continuelle de détériorations, surtout lorsqu'il contient des traces d'acide chlorhydrique, des vapeurs nitreuses, de l'arsenic.

M. *Scheurer*, de Thann, a trouvé qu'un appareil produisant 4,000 kilogrammes d'acide par jour perdait environ 2 grammes de platine par jour et par 1,000 kilogrammes d'acide, et que lorsque l'acide contenait des vapeurs nitreuses, l'usure du vase pouvait atteindre 4 et 5 grammes par 1,000 kilogrammes d'acide traité. D'après M. Scheurer-Kestner [1], l'usure du platine serait bien moindre dans un appareil neuf. La diminution de poids ne dépasserait pas 1 gramme dans du platine récemment martelé, car, étant plus compacte, il serait moins facilement attaqué.

M. Scheurer-Kestner a fait des expériences sur la résistance des vases en platine contenant de l'iridium (platine iridié de M. Chapuis). Deux capsules, l'une en platine, l'autre en alliage de platine et d'iridium, furent introduites dans un alambic et y restèrent exposées pendant deux mois à l'action de l'acide sulfurique bouillant. Après cet espace de temps, la capsule en platine pur était complétement déformée et sa surface corrodée; elle avait perdu 19,6 de son poids. La capsule en iridio-platine avait, au contraire, conservé sa forme; la surface en était restée brillante, et la perte ne dépassait pas 8,8 de son poids primitif. Par conséquent, la perte de la capsule en *iridio-platine* était de 45 p. 100 moins forte que celle de la capsule en platine pur. Ces résultats sont certainement remarquables et méritent toute l'attention des industriels.

Voici maintenant la description de l'appareil de M. *Cotelle*. Nous en avons vu fonctionner un qui nous a paru remplir toutes les conditions désirables. Reste à savoir quelle est la perte en acide entraîné : c'est ce qu'il ne nous a pas été donné de vérifier, mais nous savons que c'est là le grand reproche que l'on fait à cet appareil.

Malgré cette perte, si elle existe réellement, l'appareil Cotelle peut rendre de grands services ; aussi n'avons-nous pas hésité à en donner une description complète et détaillée, et nous avons d'autant plus tenu à la donner ici, que nous pensons que ce système, applicable à toute évaporation de matières liquides, n'a jamais été publié.

[1] Rapport de M. Hoffmann.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cet appareil facile à construire dans toutes les localités, puisqu'il ne se compose que de briques et de pierre ponce peut, en outre, être employé à la concentration des eaux acidulées, faibles en degré, et que certaines industries perdent, faute d'un système de concentration économique pour en tirer parti.

Il peut encore être utilisé à la concentration des dissolutions salines et à celle de tous liquides non susceptibles de s'enflammer au contact d'un foyer.

On trouvera dans la planche 212 tous les détails de cet appareil; nous devons, en outre, à l'obligeance de l'auteur les renseignements suivants sur son système de construction et sur sa mise en marche.

L'appareil à concentrer les acides se compose de trois parties essentielles, savoir : 1° le foyer pour la production de la chaleur ; 2° la colonne où la chaleur agit sur le liquide à concentrer ; 3° les appareils de condensation.

1° Foyer. — Le foyer A [1], dans lequel il faut brûler du coke, est un foyer ordinaire suivi d'un conduit B,B rempli de pierre ponce ou de cassons de briques pour épurer la flamme. Le regard C a pour but de laisser entrer dans le four de l'air en excès, afin que l'oxyde de carbone soit brulé, ainsi que les matières organiques que pourrait entraîner la flamme. Les gaz chauds ainsi purifiés se rendent dans la colonne à concentrer.

2° Colonne où s'opère la concentration. — La colonne D est construite intérieurement en briques réfractaires ou demi-grès, et extérieurement en briques ordinaires. Elle est fermée par le bas au moyen d'un obturateur en plomb à double enveloppe, dans lequel on fait passer un courant d'eau froide. Elle est remplie de pierre ponce de haut en bas. A 0m,25 au-dessus de l'obturateur inférieur se trouvent trois orifices E,E,E, pour l'introduction des gaz chauds avec conduits spéciaux indiqués au plan. A la partie supérieure, cette colonne est fermée par des briques réfractaires ou demi-grès supportés par deux barres de fer enrobées de plomb.

Dans cette maçonnerie se trouvent encastrés le tuyau conduisant les vapeurs aux réfrigérants et l'entonnoir dans lequel coule l'acide à concentrer,

3° Appareils de condensation. — Le système de condensation adopté de préférence est le suivant. On emploie deux cuves de condensation : dans la première on refroidit avec l'acide à concentrer, de manière à ce qu'il soit déjà chaud quand il déborde par le trop-plein pour entrer dans la colonne. Dans la seconde, on achève la condensation avec de l'eau. Les eaux de condensation ou *petites eaux* s'écoulent par une tubulure soudée sous le tuyau qui sort au bas de la deuxième cuve et à la partie la plus basse de ce tuyau. Ce tuyau, qui se relève un peu, conduit les gaz incondensables dans une cheminée munie d'un bon tirage.

Comme on le voit, l'air nécessaire à la combustion traverse la grille du foyer A, passe dans le conduit B,B, s'élève avec les vapeurs dans la colonne D, se refroidit dans les réfrigérants et se rend enfin à la cheminée.

La construction comprend deux parties : la plomberie et la maçonnerie.

1° Plomberie. — Obturateur inférieur. — L'obturateur inférieur, destiné à supporter la pierre ponce et à recevoir l'acide concentré, se construit de la manière suivante :

On découpe dans une feuille de plomb de 0m,005 d'épaisseur un cercle dont le diamètre aura 0m,10 de plus que le diamètre intérieur de la colonne à sa partie inférieure ; on laisse tout autour une bordure plate de 0m,05 de largeur, et on emboutit l'intérieur de manière à avoir une concavité d'environ 0m,10 de flèche. On découpe au centre un cercle de 0m,10 de diamètre, et l'on y soude un tuyau conique recourbé, de telle sorte que l'obturateur étant horizontal, ce tuyau ait une pente totale de 0m,15. On soude ensuite une double enveloppe, comme l'indique le plan. Sur cette enveloppe on soude un entonnoir et un trop-plein également comme un plan. Cette double enveloppe a pour but de pouvoir environner complétement l'obturateur d'eau froide.

Condenseurs. — La position des condenseurs est suffisamment indiquée au plan : il suffira d'indiquer la construction d'une des cuves qui, sauf les dimensions différentes, sont semblables. Le condenseur placé dans chaque cuve se compose de deux cylindres concentriques

[1] Les mêmes lettres ont la même signification dans toutes les figures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fermés en haut et en bas par une couronne. Le plus petit cylindre est ouvert aux deux bouts. Dans l'espace annulaire compris entre les deux cylindres, on soude une cloison verticale. Le tuyau d'arrivée des vapeurs est soudé en haut, près de cette cloison. Le tuyau de sortie est soudé en bas, de l'autre côté de cette cloison, ce qui force les vapeurs à faire le tour complet. Ce condenseur est placé dans la cuve sur des cales recouvertes de plomb. — Les tuyaux d'entrée et de sortie sont soudés à la cuve contenant le liquide réfrigérant.

2° MAÇONNERIE. — Rien de particulier pour la construction du foyer et de son conduit. Les parties exposées au feu doivent être en briques réfractaires.

A gauche du foyer, existe le trou d'air. Le conduit qui suit le foyer doit être rempli de pierre ponce en morceaux, ou de cassons de briques de la grosseur d'une boule de 6 à 7 centimètres de diamètre environ.

La colonne est montée verticalement et en maçonnerie ordinaire, jusqu'à $0^m,75$ au-dessus du sol. Dans cette partie se trouve la voûte figurée au plan. Sur l'extrados de cette voûte, on pose une assise de briques pour niveler, et sur cette assise, on pose l'obturateur en plomb qui recouvre la maçonnerie de $0^m,05$ tout autour. On maçonne, par-dessus, en briques ou demi-grès en coupe à joints très-serrés, rainures et baguettes. Il suffit de $0^m,12$ de briques réfractaires ou demi-grès avec une brique de $0^m,22$, de distance en distance, pour lier les briques réfractaires ou demi-grès avec les briques ordinaires qui composent la maçonnerie extérieure. A $0^m,25$ au-dessus de l'obturateur, il faut laisser les orifices d'introduction d'air avec leurs conduits tels qu'ils sont figurés au plan. Ces orifices sont recouverts d'un carreau faisant saillie, de $0^m,05$ à l'intérieur, de manière à ce qu'il n'y puisse pas entrer d'acide. On continue ensuite à monter la colonne en se guidant d'une règle de pente construite d'après les indications du plan. Arrivé au sommet de la colonne, on pose deux barres de fer plates enrobées de plomb, on y pose le tuyau conduisant au condenseur, ainsi que l'entonnoir à acide, et l'on ferme le tout en briques réfractaires ou demi-grès. Pour poser les briques réfractaires ou demi-grès, il faut employer du coulis de terre réfractaire ou du mastic de silicate de soude et d'amiante. La colonne est consolidée par trois cercles en fer et le foyer par quelques ancres. — Les cuves de condensation sont placées sur des supports *ad hoc*. Il faut emplir la colonne de pierre ponce au fur et à mesure que l'on monte, en ayant soin de la recouvrir d'une toile pour qu'elle ne reçoive pas de mortier. Il faut laver la pierre ponce avant de la mettre en place.

MARCHE DE L'APPAREIL. — Au bout de deux à trois jours de chauffage, le four est suffisamment sec. On fait couler alors l'acide, lentement d'abord, jusqu'à ce qu'on soit arrivé au degré convenable. Ensuite, on augmente graduellement jusqu'à ce que l'on soit arrivé à la vitesse normale du four.

En même temps on fait couler de l'eau froide dans le deuxième réfrigérant du haut, en quantité suffisante pour que l'eau sortant par le trop-plein ne soit que tiède. Dans le réfrigérant du bas, il faut faire couler de l'eau froide en quantité assez grande pour que le plomb ne s'échauffe pas.

Notes. — Par ses dispositions et la nature des matériaux qui le composent, cet appareil peut servir à évaporer, concentrer ou distiller toute espèce de liquide. Par la manière dont la chaleur y est appliquée, on voit qu'il ne peut pas y en avoir de perdue, puisque les gaz chauds se trouvent en contact avec le liquide même.

Lorsqu'on n'a pas besoin de recueillr les eaux d'évaporation, on peut supprimer les réfrigérants.

Sans vouloir enlever aucun mérite à M. Cotelle, dont nous venons d'indiquer l'appareil, nous devons ajouter que, bien avant lui, et dès 1850, M. Gossage avait pris un brevet d'invention pour la concentration de l'acide sulfurique par l'action d'un courant d'air surchauffé. Son appareil présentait beaucoup d'analogie avec celui de M. Cotelle : il consistait en une colonne de plomb remplie de fragments de porcelaine, de poteries ou même de simples cailloux de silex. L'acide faible répandu à la partie supérieure de la colonne descendait en arrosant chaque lit de cailloux, et, par conséquent, s'étendait en surfaces multipliées. Un courant d'air chauffé, produit par la combustion du coke, et mélangé de tous les produits bruts de la combustion de ce coke, s'élevait à travers les interstices

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la colonne et suivait ainsi une marche précisément contraire à celle du courant d'acide sulfurique.

Comme dans l'appareil Coteile, l'air chaud évaporait l'acide faible en se trouvant en contact immédiat avec lui. M. Gossage cessa bientôt, dit-il, de se servir de ce mode de concentration, en raison des pertes causées par l'entraînement de l'acide sulfurique avec le courant d'air chaud.

Nous avons encore à entretenir nos lecteurs d'une nouvelle source de soufre extrait des marcs ou résidus des fabriques de soude. Nous réservons ce sujet pour la fin de nos Études, alors que nous ferons ressortir l'importance toujours croissante de l'utilisation générale des résidus d'usine.

Nous terminerons cette étude sur l'acide sulfurique en indiquant sommairement le compte de revient de l'acide sulfurique en Angleterre et en Belgique. Les documents certains pour la France nous manquent : nous pourrions facilement y suppléer et indiquer le coût réel de l'acide, mais nous préférons nous abstenir pour éviter les réclamations des fabricants français qui, tout en réalisant des bénéfices considérables, fabuleux même, ne manquent pas de s'écrier chaque fois qu'ils en trouvent l'occasion, qu'ils sont ruinés par les traités de commerce, et qu'ils ne peuvent soutenir la lutte avec les manufactures étrangères.

FABRICATION DE L'ACIDE SULFURIQUE

A L'AIDE DES PYRITES.				AU MOYEN DU SOUFRE.	
EN ANGLETERRE.		EN BELGIQUE.		A MARSEILLE.	
1,000 kilos de pyrites à 42 fr. la tonne (pyrites à 45 % de soufre en moyenne)	42f,00	1,000 kilos de pyrites à 35 fr. la tonne (pyrites à 35 % de soufre)	35f,00	1.000 kilos de soufre à 17 fr.	170f,00
58 kilos d'azotate de soude à 350 francs la tonne	20f,30	42 kilos d'azotate de soude à 38 francs les 100 kilos.	15f,96	75 kilos d'azotate de soude à 40 fr.	30f,00
150 kilos de houille à 10 fr. la tonne	1f,50	150 kilos de houille à 12 francs	1f,80	100 kilos de houille à 25 fr.	2f,50
Main-d'œuvre	5f,00	Main-d'œuvre	3f,00	Main-d'œuvre	4f,00
	68f,80		55f,76		206f,50
Frais généraux, réparations	5f,00	Frais généraux, réparations	3f,00	Frais généraux	6f,50
DÉPENSE	73f,80	DÉPENSE	58f,76	DÉPENSE	213f,00
Rendement :		*Rendement :*		*Rendement :*	
1,560 kilogr. d'acide sulfurique à 53° coûtant 4f,73 les 100 kil., soit	73f,78	1,365 kilogr. d'acide sulfurique à 53°, coûtant 4f,30 les 100 kil., soit	58f,69	4,000 kilogr. d'acide à 53°, coûtant 5f,32 les 100 kilogr., soit	212f,80

Nous avons indiqué plus haut les motifs pour lesquels nous ne donnons pas le prix de revient de l'acide fabriqué en France au moyen des pyrites.

Chacun sait que la fabrication, à l'aide du soufre, coûte un peu plus cher, mais donne des produits beaucoup plus purs.

Malgré cela, la différence entre la fabrication anglaise, 4 fr. 73, et celle du soufre en France, 5 fr. 32, n'est pas considérable.

L'acide sulfurique, fabriqué en France avec des pyrites, revient souvent à un prix inférieur à l'acide sulfurique anglais ou belge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIII

Depuis les temps les plus reculés, on a employé la soude et la potasse et plus souvent un mélange involontaire de ces deux substances à la confection du verre et du savon.

Ce produit naturel, qui, suivant sa nature et sa provenance, était désigné sous le nom de *Natron* de *Sosa* (*ssounia*, disent les Arabes), est aujourd'hui à peu près disparu de la consommation, grâce à la mémorable découverte de Leblanc.

Lorsqu'on brûle à l'air libre les végétaux ligneux ou herbacés, et que l'incinération est complète, c'est-à-dire qu'il ne reste pas de charbon végétal, on obtient comme résidu une poudre grisâtre qui est la cendre. Ce résidu est formé par toutes les substances minérales fixes, indécomposables à une chaleur moyenne, que les végétaux s'étaient assimilés en allant les rechercher par leurs racines dans le sein de la terre.

Voici en général la composition de ces cendres :

Matières solubles :	Matières insolubles :
Carbonate de potasse.	Carbonate de chaux et de magnésie.
Carbonate de soude.	Phosphates de chaux et de magnésie.
Sulfate et phosphate de potasse.	Chaux et magnésie caustiques.
Sulfate et phosphate de soude.	Silice.
Chlorure de potassium et de sodium.	Oxydes de fer et de manganèse.
Silicate de potasse.	Charbon.
Silicate de soude.	
Oxalates de soude et de potasse.	

La nature de ces cendres varie suivant la composition des terrains où les plantes ont végété. Dans l'intérieur des terres, les plantes et les arbres donnent des cendres ; riches en sels de potasse, celles au contraire qui se sont développées sur le bord de la mer, ainsi que les plantes marines, ne fournissent que des sels de soude, et, dans les deux cas, on trouve dans ces cendres des substances solubles et des substances insolubles dans l'eau.

Ces cendres lavées dans l'eau, ou *lessivées*, produisent un liquide plus ou moins coloré ; doux au toucher, mais altérant la peau qu'ils détruisent ; d'une saveur âcre et piquante, alcaline et susceptible de se mélanger, dans de certaines conditions, avec les matières grasses en les dissolvant : c'est ce qu'on nomme *la lessive*. Cette propriété de dissoudre les matières grasses explique pourquoi, depuis un temps immémorial, la lessive dans les ménages sert au blanchiment du linge.

La lessive évaporée à siccité fournit un résidu fortement coloré, d'une apparence saline et caustique attirant l'humidité de l'air, connu sous le nom de *salin*, composé en grande partie de potasse, lorsqu'il provient de végétaux terrestres, et formé de soude quand il a été fourni par les plantes marines.

Ce salin calciné et quelquefois lessivé de nouveau produit enfin les potasses et les soudes naturelles. On peut avancer sans crainte que ces deux alcalis bruts ont été connus dans les temps les plus reculés et que leur usage a dû précéder de beaucoup l'invention du savon.

Les progrès de la chimie moderne ont mis à notre service de nouvelles et inépuisables sources de soude et de potasse. La production de la soude naturelle, c'est-à-dire celle de la soude produite par l'incinération des plantes, tend à disparaître chaque jour de plus en plus, elle ne s'exerce plus que dans quelques rares localités et sur une petite échelle ; la soude artificielle extraite du sel marin

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'a remplacée dans toutes ses applications industrielles par son bas prix et par sa bonne qualité.

Une grande partie de la potasse que nous consommons nous est encore fournie par la destruction des forêts ; cette source de production disparaîtra naturellement par la rareté du bois et par le haut prix qu'il atteindra pour les autres usages, et, comme pour la soude, c'est encore à l'eau de la mer que nous demanderons la potasse indispensable aux besoins de nos arts et de nos manufactures.

Déjà nous en trouvons une production considérable dans le traitement des résidus ou vinasses des établissements qui distillent les mélasses, et l'on a même commencé l'exploitation des eaux de la mer pour en extraire les sels de potasse.

Les découvertes de Davy, de Thenard et de Gay-Lussac nous ont appris que les potasses et les soudes n'étaient que des sels de métaux très-oxydables, le potassium et le sodium. Ces métaux, pas plus que leurs oxydes, ne se rencontrent jamais à l'état naturel ; ce n'est que combinés aux acides, carbonique, silicique, sulfurique, chlorhydrique, ou à d'autres corps simples, que la nature nous les présente.

On comprend que les sels végétaux, de soude, de potasse, de chaux et de magnésie, dont l'acide organique est décomposable au feu, se transforment, au moment de l'incinération des plantes, en carbonate : c'est donc à l'état de carbonate principalement que nous obtenons les sels de soude et de potasse.

« On comprend sous le nom de sels trois espèces de substances, disait M. de Jaucourt dans le siècle dernier, 1765, les acides, les alcalis et les sels neutres [1].

« Les alcalis se divisent en fixes et en volatils : les fixes sont ceux qui, exposés au feu le plus violent, fondent sans se dissoudre dans l'air, tandis que les volatils s'évaporent, quelque faible que soit la température. Il ne paraît cependant pas qu'ils diffèrent entre eux ; peu de phlogistique nous paraît en faire toute la différence. Trouver le moyen de le donner à l'alcali fixe, c'est trouver celui de le rendre volatil. Il est hors de doute que, par la fermentation putride, la nature opère ce changement évident dans la putréfaction de l'urine. L'art, en composant le foie de soufre, volatilise également les alcalis fixes, puisque ces deux substances, chacune séparément sans odeur, étant unies, en donnent une fort désagréable et tout à fait volatile.

« Les principales propriétés des alcalis sont de faire une vive effervescence en se mêlant avec les acides, de composer avec eux des sels neutres, de décomposer les autres sels, de verdir le sirop de violette et toutes les couleurs bleues des végétaux ; ils ont une saveur âcre et piquante ; les anciens chimistes prenaient pour un combat et une antipathie l'effervescence qui résulte du mélange des acides et des alcalis. Actuellement l'opinion contraire a prévalu, et cette effervescence est reconnue pour un effet de la ressemblance, de l'accord qui semble être entre deux substances qui s'unissent avec vivacité. — Les alcalis ont plus d'affinité avec l'acide vitriolique qu'avec le nitreux, le marin et le végétal ; avec ceux-ci qu'avec le soufre et les huiles : mêlés à cette dernière espèce de substance, ils forment les savons les plus aisés à faire, les plus connus et les seuls en usage.

« Il y a trois genres d'alcalis fixes dont les propriétés sont différentes. Le premier, c'est l'alcali terreux, le natrum. Le second est l'alcali marin, la soude. Le troisième est l'alcali du tartre, en sorte que chaque règne de la nature a son alcali propre : le règne animal adopte le volatil ; le natrum appartient au minéral ; la soude à l'aqueux, et l'alcali du tartre est le végétal.

« Les sels fixes des plantes sont des sels alcalis qu'on en tire après les avoir brûlées et après avoir lessivé leurs cendres : c'est pourquoi on les a appelés *sels lixiviels*.

« Il entre dans la composition des sels alcalis fixes des plantes une partie de leur huile qui fait que ces sels ont quelque chose de doux au toucher. Le nitre fixe contient un peu de la partie grasse de la matière inflammable avec laquelle on l'a fixé.... Il ne faut pas lessiver

[1] *Encyclopédie*, tome XIV, article SEL.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les cendres des plantes avec de l'eau chaude pour en tirer les sels, si on veut ne pas dissoudre une trop grande quantité d'huile.... Les alcalis diffèrent par leurs différentes terres, par leurs différents acides ; ils diffèrent aussi par le plus ou moins d'huile qu'ils contiennent, et par le plus ou le moins de sels moyens qui y sont joints.

« Les alcalis fixes sont les dissolvants des matières grasses avec lesquelles ils forment des corps savonneux qui ont de grandes propriétés..... »

Voilà quelles étaient les connaissances de nos aïeux sur les alcalis. Nous sommes entrés dans ces quelques détails, pour mieux faire ressortir l'état réel d'avancement de l'industrie savonnière sur toutes les autres dans le siècle précédent, malgré les données confuses sur lesquelles elle reposait.

Aujourd'hui, nous reconnaissons les alcalis usuels, potasses et soudes du commerce, à leur saveur âcre et urineuse, à leur grande solubilité dans l'eau, à leur action sur le sirop de violettes qu'elles verdissent et sur le tournesol rougi qu'elles ramènent au bleu primitif, ainsi qu'à leurs propriétés mordantes et destructives, surtout pour tous les produits du règne végétal ; et enfin à la vive effervescence qu'elles produisent au contact des acides même les plus faibles.

Nous savons également que ces corps sont des sels de métaux très-oxydables, la plupart du temps carbonatés, et que, ramenés à l'état d'oxyde en leur enlevant l'acide carbonique, ils forment des bases d'autant plus énergiques que leur solubilité dans l'eau est plus grande.

Les alcalis éminemment solubles sont la potasse et la soude. On les distingue par les caractères suivants :

Les potasses s'humectent promptement au contact de l'air et tombent bientôt en déliquescence. Elles ne cristallisent pas dans l'eau, ce n'est que par l'évaporation à siccité qu'on peut obtenir le carbonate de potasse solide ; il est alors en poudre blanche très-déliquescente.

Les soudes, au contraire, au lieu d'attirer l'humidité de l'air, sont très-efflorescentes : quand on concentre leur dissolution, elles cristallisent en prismes rhomboïdaux.

Ces cristaux transparents et incolores, tant qu'ils sont dans leur eau-mère, deviennent bientôt opaques au contact de l'air et se recouvrent d'une poussière farineuse ; ces altérations sont dues à l'efflorescence du carbonate de soude.

Il est peu de substances qui aient reçu autant d'emplois utiles que ces matières. Leur usage le plus ancien et le plus fréquent est de servir au blanchissage du linge, au blanchiment de presque tous les tissus, en raison de la propriété que possèdent tous les alcalis de dissoudre les matières organiques, grasses ou colorantes.

IX

L'extraction de la potasse a pris depuis de longues années un développement considérable en Russie, en Amérique, en Toscane, en Pologne, en France dans les Vosges, et partout où de vastes forêts encore peu habitées sont dans des conditions telles que le transport des bois de construction présenterait de grandes difficultés. De proche en proche, cette industrie détruit les forêts dont le sol est d'ailleurs consacré au défrichement et au labourage.

Bien qu'on livre à la combustion des arbres entiers en certaines localités où l'abondance des bois est extrême, en d'autres lieux où les gros troncs et les tiges s'exploitent comme bois de travail, on n'emploie que les branchages, les arbustes et les plantes herbacées. Ces matières combustibles s'utilisent souvent encore doublement : d'abord comme moyen de chauffage, et ensuite pour les cendres qu'elles laissent en résidus.

L'incinération des grands végétaux ligneux s'opère généralement sur la place

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même où le bois a été abattu, dans de grandes fosses creusées dans le sol.

La cendre recueillie est soumise à trois ou quatre lavages successifs, dans de grands tonneaux en bois, ou mieux dans une série de bassins en tôle. Toutes les lessives dépassant 15° à l'aréomètre Baumé sont évaporées dans des chaudières plates en tôle, jusqu'à consistance sirupeuse, puis transvasées dans de petites chaudières en fonte que l'on chauffe dans un four grossier jusqu'à ce que la matière devienne solide en se boursouflant. Ce résidu est ce qu'on nomme le *salin*.

Autrefois le salin était calciné et fondu dans ces chaudières en fonte; la potasse d'Amérique nous arrive même encore aujourd'hui en morceaux demi-sphériques, indiquant d'une façon certaine la fusion subie dans de petites chaudières à fond sphérique ; ce mot *potasse* provient même de cette façon d'opérer et signifie *cendre de pot* (pot-ash).

Aujourd'hui le salin coloré en brun par des matières organiques, et retenant une forte proportion d'humidité, est calciné au rouge sombre dans un four à réverbère, dans lequel on produit un brassage fréquent dans le double but de faciliter l'accès de l'air et de s'opposer à la fusion, tout en granulant l'alcali et en lui donnant la forme commerciale.

Les quantités de potasse obtenues des végétaux varient suivant la composition du sol, l'âge et les espèces des végétaux. Les parties les plus jeunes donnent plus de potasse que les vieilles : les branches à point égal fournissent plus que les tiges, et les plantes herbacées plus que les plantes ligneuses. 100 kilogrammes de bois de chêne, de hêtre, de charme, rendent environ 1 kilogramme de cendres d'où l'on extrait de 100 à 200 grammes de potasse; les sureaux, faux ébéniers, noisetiers, donnent de 2 à 4 kilogrammes de cendres d'où l'on extrait de 100 à 200 grammes de potasse; les fanes de pommes de terre, de sarrasin, de colza, donnent 5 à 6 kilogrammes de cendres et jusqu'à 1 kilogramme de potasse. Les orties produisent jusqu'à 2 et 3 kilogrammes de potasse. Pour une superficie de terrain donnée, ces plantes herbacées produisent les maxima de potasse et de combustible, vers l'époque de leur maturité; plus tard diverses causes, telles que leur désagrégation, les eaux pluviales, etc., etc., enlevant une partie des sels solubles et des matières organiques, diminuent d'autant ces produits.

QUANTITÉ DE CENDRES ET DE POTASSE FOURNIES PAR DIFFÉRENTS VÉGÉTAUX.

NOM DU VÉGÉTAL.	COULEUR DU SALIN.	PRODUIT EN CENDRES	PRODUIT EN POTASSE.
Sapin	Noir clair.	0,34133	0,045
Peuplier	Noir foncé.	1,23476	0,07481
Charme	Blanc grisâtre.	1,1283	0,1254
Hêtre	Café au lait.	0,58432	0,14572
Chêne	Gris de lin.	1,35185	0,15343
Pin	Mine de plomb brillante.	2,9	0,226
Saule	Gris de lin tendre.	2,8	0,285
Orme	Gris vineux.	2,367	0,390
Jonc à plumasseau	Gris vineux.	4,335	0,508
Chardon commun	Gris vineux.	4,042	0,537
Vigne (branches)	Gris blanc.	3,379	0,55
Fougères	—	4,	0,625
Jonc de rivières	—	3,853	0,722
Tiges de maïs	Gris cendré.	8,86	1,75
Chardon des vaches	—	1,05	1,966
Grand-soleil	—	5,702	2,
Ortie	—	10,671	2,503
Absinthe	—	9, 744	7,3
Fumeterre	—	21,9	7,09

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les plus belles potasses sont blanches ; on leur donne le nom de perlasse, *pearl-ash*, expression anglaise dont la signification est cendre perlée.

La potasse nous vient surtout d'Amérique ; les potasses de Russie et de Toscane sont également blanches, mais généralement les potasses ordinaires qui nous viennent d'Amérique sont colorées en bleu verdâtre, en rouge, en jaune, par des oxydes de fer et de magnésie, et chaque espèce a sa nuance particulière, qui forme un de ses caractères distinctifs, propre à en faire reconnaître l'origine.

Les lies provenant du soutirage des vins dans les contrées vinicoles s'appliquent également à la fabrication directe de la potasse. Ces lies de vin comprimées et desséchées sont brûlées sur un sol bien battu ; elles produisent environ 17 p. 100 de cendres d'où l'on extrait environ moitié de salin raffiné. Cette sorte de potasse, connue sous le nom de cendres gravelées, de vinasse, trouve un emploi spécial dans la teinture ; son prix trop élevé en raison de son titre alcalimétrique n'en permet pas l'emploi dans la savonnerie.

Jusque dans ces derniers temps nous étions tributaires de l'Amérique et de la Russie pour la potasse non-seulement indispensable à la savonnerie, aux fabriques de cristaux, mais encore à la fabrication du salpêtre et de la poudre de guerre. Sous le premier Empire, époque qui fut si fatale à l'industrie, on se trouva réduit à la seule production de la potasse indigène (Vosges, Bourgogne, Auvergne), et l'on vit le cours de cette matière première s'élever considérablement. Grâce aux découvertes modernes, et surtout à celles de M. Dubrunfaut, nous pouvons aujourd'hui presque suffire à nos besoins.

La betterave à sucre, dont la culture a pris une si grande extension, enlève au sol une grande quantité de sels et notamment de sels de potasse.

Dans la fabrication du sucre, ce qui cristallise, c'est du sucre à peu près pur ; tous les sels et toutes les matières étrangères restent avec le sucre incristallisable ou *mélasse*. Ces mélasses à leur tour mises en fermentation laissent transformer leur sucre en alcool que la distillation enlève. Le résidu de la distillation ou *vinasse* contiendra donc tous ces sels de potasse et de soude qu'une évaporation suivie d'une calcination dans un four à réverbère transforme en alcali. En procédant ensuite par dissolution et par cristallisation, comme nous le verrons ci-après, on arrive à séparer complétement les soudes des potasses et ces dernières des sels neutres, de façon à n'avoir pour résultat final que des potasses excessivement pures, d'un degré alcalimétrique très-élevé, produits en tous points supérieurs aux potasses d'extraction directe.

M. Balard vient d'indiquer et de faire mettre en exploitation le procédé suivant pour l'extraction de la potasse contenue dans les eaux de la mer, dans de grandes proportions. C'est une révolution radicale dans la production de la potasse.

Les eaux mères qui, dans les salines, ont laissé cristalliser le sel, étant réunies et exposées à une basse température, il s'établit une réaction chimique qui provoque la formation d'un sel de potasse insoluble à la basse température de ces eaux.

Ce procédé, mis en pratique par M. Merle dans les salines du bas Languedoc, permettra un jour d'extraire de la mer des masses considérables de potasse. Pour la production du froid artificiel, M. Merle applique en grand l'appareil frigorifique de M. Carré, qui a été décrit dans le 2e volume des *Études*, page 130.

Les eaux mères des salines sont consacrées à la production de la potasse, quand elles marquent 28 degrés à l'extrémité : elles ont alors déposé les quatre cinquièmes de leur sel marin. On les introduit dans les appareils Carré qui abaissent leur température jusqu'à 18° à 20°. Le sulfate de soude se dépose

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'abord, toute la potasse se sépare ensuite sous la forme de cristaux de chlorure double de potassium et de sodium insolubles dans l'eau froide. Le sel recueilli est lavé à l'eau froide qui enlève, en les dissolvant, les sels sodiques, et laisse pur le sel de potasse. D'un autre côté, M. Maumenée et Rogelet, de Reims, ont découvert récemment une nouvelle source de potasse. Ces chimistes extraient cet alcali du suint de la laine des moutons. La potasse fournie par les eaux du désuintage est d'une grande pureté, alors surtout applicable à la fabrication des cristaux.

Les eaux qui la fournissent proviennent des grands centres manufacturiers tels que Reims, Elbeuf dans lesquels on lave la laine. Les eaux évaporées et calcinées dans des cornues fournissent la potasse.

L'importance de cette nouvelle source de production n'est pas à mettre en parallèle avec celle que nous venons de citer plus haut; néanmoins, M. Maumenée et Rogelet prétendent que, s'il leur était possible de laver à l'eau simple les toisons de tous les moutons de France, ils jetteraient peut-être dans l'industrie douze millions de kilogrammes de potasse pure. Ajoutons que l'on retire de cette fabrication, comme produits secondaires, des quantités importantes d'ammoniaque et de gaz d'éclairage.

L'Exposition nous montrait peu d'échantillons de potasses. Dans le commerce, on en rencontre de plusieurs sortes :

1° La *potasse de Russie*, dite de Saint-Pétersbourg et qui nous vient de Kasan et d'Arkangel, blanche, ou blanche-bleu verdâtre, granulée en morceaux irréguliers, luisants, polis, assez pure, peu caustique (c'est-à-dire composée de carbonate de potasse presque pur) et titrant à l'alcalimètre 52° à 58°, ou, ce qui revient au même, contenant de 52 à 58 de potasse pure.

Elle nous arrive embarillée en fûts de bois blanc de 1m,30 de long, reliés de 16 cercles et pesant de 330 à 350 kilogrammes bruts. La tare se calcule à 12 p. 100 du poids brut.

2° La *potasse de Toscane*, qui nous vient de Livourne, en petites masses irrégulières, quelquefois en poudre mêlée de morceaux compactes, provenant de la calcination. Lorsqu'elle est de bonne qualité, elle ne contient ni partie charbonneuse ni marrons, c'est-à-dire sans aucune portion de salin n'ayant pas subi la calcination.

Les potasses de Toscane sont divisées en potasses blanches, grises et bleues. Elles diffèrent peu entre elles pour leur valeur alcalimétrique: la 1re donne 50° à 55°, la 2e de 55° à 60° et la 3e de 50° à 55° comme la première. Elle nous parvient embarillée en bons fûts de chêne reliés de 6 cerceaux plats de même bois. Ces barriques, qui pèsent bruts de 300 à 400 kilogrammes, portent la marque *Potasse*. On déduit généralement 12 p. 100 du poids brut applicable à la tare du fût.

3° La *potasse des Vosges*, dont la valeur, l'aspect, l'embarillage sont très-variables, se présente souvent en granules grisâtres mélangés de poussière, plus ou moins caustiques. Elle titre de 28° à 40° alcalimétriques.

4° La *potasse d'Amérique perlasse*, qui nous arrive exclusivement par New-York, se divise en trois sortes plus ou moins riches.

La première qualité titre 55° à 60°.

La deuxième qualité titre 35° à 45°.

La troisième qualité titre 25° à 30°.

La potasse perlasse est en morceaux irréguliers, inégaux, quelquefois de couleur blanche ou azurée, d'autres fois encore granulée comme la potasse de Russie. Elle est moins caustique que la potasse rouge d'Amérique et se réduit facilement en poudre. Comme son degré alcalimétrique est quelquefois plus élevé que celui de la potasse ordinaire, et qu'elle est toujours plus pure, elle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vaut toujours un prix supérieur à celle-ci. Cette potasse se trouve embarillée en fûts de bois de chêne maintenus par 14 ou 16 cercles, et du poids brut de 180 à 220 kilogrammes.

L'usage est d'accorder 12 p. 100 de tare.

5° La *potasse d'Amérique*, dont l'origine est la même que celle de la perlasse, nous arrive en pains demi-sphériques, plus ou moins altérée, et en morceaux d'une grande dureté, dont la cassure est nette et difficile. Ces morceaux sont diversement colorés en vert, en rouge-brique, en gris, en rouge violacé. Elle est très-riche en alcali, elle attire promptement l'humidité de l'air et se liquéfie et se transforme en une pâte jaunâtre qui détruit la surface de la peau en la saponifiant si on la place entre les doigts.

Elle est divisée en 1re, 2e, 3e sortes, suivant son état de pureté. On a donné à ces sortes des caractères résultant de l'état de coloration, de leur manière d'être exposé à l'air, mais l'acheteur ne doit jamais se fier à ces caractères.

La première sorte titre 54° à 60°.

La deuxième sorte titre 46° à 52°.

La troisième sorte titre 25° à 40°.

La potasse d'Amérique nous est expédiée en barils de chêne bien conditionnés et cerclés de 13 à 16 cercles épais, dont le poids brut varie entre 200 et 300 kilogrammes.

La tare à déduire pour la valeur du fût est de 12 p. 100 du poids brut.

6° Le salin des distilleries de betteraves, produit indigène, fabriqué surtout dans les départements du nord de la France et en Belgique, se présente sous un aspect noirâtre, en morceaux poreux plus ou moins gros, assez semblables à de la soude brute, et dégageant également une odeur sulfureuse.

Sa composition est très-variable, il contient quelquefois autant de sels de soude que de sels de potasse, suivant la nature et la culture du sol producteur de la betterave. Son titre alcalimétrique (potasse et soude) varie de 30° à 50°.

Les fabricants de savons mous emploient maintenant cette potasse brute et à bas prix avec un certain avantage, ils la reçoivent en fûts de toutes contenances.

7° La potasse de betterave, extraite du salin brut débarrassé de la soude, des sulfates, des chlorures, évaporée et granulée au four à réverbère, est la plus riche et la plus pure de toutes les potasses. Deux grands établissements, à Saint-Quentin et à Valenciennes, ont acquis dans cette fabrication une réputation justement méritée, et produisent des potasses à un degré de pureté tel qu'elles entrent dans la fabrication du cristal sans traitement préalable ; son titre alcalimétrique s'élève alors jusqu'à près de 70°, et elle contient jusqu'à 95 p. 100 de carbonate de potasse pure.

8° Les fabricants de potasse raffinée livrent à la savonnerie une qualité dite deuxième ou troisième sorte, ou simplement potasse de betteraves, contenant encore de la soude et quelques sels neutres, sulfates et chlorures, mais parfaitement appropriée à la fabrication des savons mous.

Cette potasse, qui se trouve soit en petits morceaux granulés, soit en poussière à teinte blanc roussâtre, n'est plus sulfureuse et titre à l'alcalimètre de 50° à 60°. Comme la précédente, sa fabrication ne s'opère qu'en France ou en Belgique ; elle est embarillée en fûts de tout genre.

9° Nous terminerons cette nomenclature des potasses commerciales par celles extraites des eaux de la mer et du suint de la laine des moutons, produits d'une très-grande pureté, mais encore peu répandues dans le commerce.

Nous avons réuni dans un même tableau les diverses espèces de potasse du commerce avec les indications qui peuvent les faire reconnaître et leur titre alcalimétrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

POTASSES COMMERCIALES.

NOMS ET ORIGINES DES POTASSES.	EXTRACTION.	DEGRÉS ALCALIMÉTRIQUES.	ASPECT, COULEUR et causticité DE LA POTASSE.
Potasse de Russie (St-Pétersbourg)	Incinération des arbres et broussailles	52 à 58	Granulée en morceaux blancs bleuâtres ou verdâtres. Très-peu caustique.
Potasse de Riga — de Finlande	Incinérat. des arbres et broussailles	30 à 50 60 à 65	Granulée, couleur blanche quelquefois azurée. Peu caustique.
Potasse de Pologne (Podchinski)	Incinération des bois et de la paille du sarrasin ou blé noir	55 à 60	Granulée, blanc grisâtre. Très-peu caustique.
Dantzick blanche Dantzick bleue	Incinération des bois — —	40 à 55 40 à 52	Granulée blanche. Granulée bleue
Toscane. . . blanche grise bleue	Incinérat. des broussailles et des herbages (maquis)	50 à 55 55 à 60 50 à 55	En masses irrégulières, quelquefois en poudre, en grains, d'autres fois en morceaux. Légèrement caustique.
Potasse des Vosges	Incinérat. des broussailles et branchages	28 à 40	Granules grisâtres. Poussière. Causticité variable.
Potasse de Trèves et du Rhin	Incinérat. des broussailles et branchages, marcs de raisin	35 à 50	En masses bleues prononcées, contenant souvent des cendres gravelées. Légèrement caustique.
Perlasse d'Amérique... 1re sorte 2e sorte 3e sorte	Incinération des arbres. Lixiviation avec un peu de chaux	55 à 60 35 à 45 25 à 30	Granulée, ou en masses. En morceaux blanchâtres. Non caustique.
Potasse d'Amérique.. 1re sorte 2e sorte 3e sorte	Incinération des arbres. Lixiviation avec de la chaux.	54 à 65 46 à 52 25 à 40	En masses d'une couleur faible en dehors, très-rouge à l'intérieur des morceaux. En masses, plus foncée et plus terne. En masses d'une couleur foncée gris jaunâtre, brun noirâtre : toutes trois très-caustiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

POTASSES COMMERCIALES (*suite*).

NOMS ET ORIGINES DES POTASSES.	EXTRACTION.	DEGRÉS ALCALIMÉTRIQUES.	ASPECT, COULEUR et causticité DE LA POTASSE.
Salin brut.	Traitement au four à réverbère des vinasses de distillerie	30 à 50	Morceaux spongieux, noirâtres, à odeur sulfurique. Non caustiques.
De betteraves.	Épuration du salin brut.	50 à 60	En morceaux et en poussière grisâtre. Légèrement caustique.
De betterave épurée. . . .	Épuration complète du salin brut. . . .	65 à 70	En morceaux ou granules, et en poussière blanchâtre. Légèrement caustique.
Des eaux de la mer.	Extraction par le froid des eaux de la mer.	60 à 65	En granul. blancs. Peu caustique.
Du suint de laine.	Incinér. du suint de la laine des moutons et lixiviation.	65 à 70	Blanche. Peu caustique.

Aucune potasse commerciale ne présente l'alcali caustique ou carbonate à l'état pur ; elles contiennent toujours en plus ou moins grandes proportions de la soude et plusieurs sels de potasse et de soude.

Indépendamment de ces sels inutiles ou nuisibles dans la généralité de leur emploi, les potasses colorées contiennent certains acides organiques bruns, constituant cette matière colorante unie à la potasse et désignée sous la vague dénomination d'acide ulmique. Elles contiennent encore des sels de fer (sesquioxyde

COMPOSITION DES POTASSES (VAUQUELIN).

NOMS DES POTASSES.	POTASSE RÉELLE.	SULFATE DE POTASSE.	MURIATE DE POTASSE.	RÉSIDU INSOLUBLE.	ACIDE carbon. et eau.
Potasse de Russie.	772	65	5	56	254
— d'Amérique.	857	154	20	2	119
— Perlasse.	754	80	4	6	308
— de Trèves.	720	165	44	24	199
— de Dantzick.	603	152	14	79	304
— des Vosges.	444	148	500	34	304

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

généralement) et des sels de manganèse provenant des matériaux puisés dans le sol, qui également les colorent en vert ou en rouge.

On doit évidemment retrouver, dans les potasses, les matières solubles contenues dans les cendres des végétaux incinérés, mais l'analyse des cendres n'est pas toujours conforme à celles des potasses fournies, car un seul végétal ne concourt pas uniquement à leur production, et un même terrain contient toujours des bois de plusieurs essences.

Les premiers travaux sur la composition des potasses datent du commencement de ce siècle. (Voir au bas de la page précédente le tableau dressé à cette époque par Vauquelin) :

Ce tableau ne représente pas exactement les éléments constitutifs de cet alcali, car ce que Vauquelin appelle potasse réelle dans sa première colonne est considéré aujourd'hui comme un hydrate contenant une grande proportion d'eau.

En résumé, les potasses du commerce peuvent être considérées comme des mélanges, à proportions variables, de potasse caustique (hydrate de potasse) ou carbonatée (carbonate de potasse alors), avec les sulfates, les chlorhydrates de potasse et de soude, le carbonate de soude et le chlorure de potassium. Comme corps accessoires, on y rencontre la silice, l'alumine, l'acide phosphorique, la chaux, les oxydes de fer et de manganèse, et enfin l'acide ulmique.

Dans les produits de qualité inférieure et surtout dans le salin de betteraves, on trouve de plus du sulfure dû à la décomposition du sulfate par le fer en présence de matières organiques, dans certaines variétés du cyanure alcalin produit par la calcination des matières azotées avec une base puissante (Pesier) [1].

En général, les potasses d'Amérique sont caustiques, les autres carbonatées. Toutes laissent, en se dissolvant, un résidu plus ou moins abondant de matières insolubles.

Nous empruntons le tableau suivant de la composition des potasses à l'excellent travail de M. Pesier, de Valenciennes. La potasse et la soude y sont représentées par leurs équivalents en carbonate.

MOYENNE DES PRINCIPALES POTASSES DE COMMERCE, D'APRÈS M. PESIER.

PRINCIPES CONSTITUANTS.	TOSCANE.	RUSSIE.	AMÉRIQUE.		VOSGES.	MÉLASSE DE BETTERAVES.		
			ROUGE.	PERLASSE.		SALIN BRUT.	ORDINAIRE épurée.	ÉPURÉE.
Sulfate de potasse	13.47	14.11	15.32	14.38	38.84	5.00	2.98	0.70
Chlorure de potassium	0.95	2.09	8.15	3.64	9.16	17.00	19.69	1.70
Carbonate de potasse	74.10	69.61	68.04	71.38	38.63	35.00	53.00	95.24
Carbonate de soude	3.01	3.09	5.85	2.31	4.17	16.00	23.17	2.12
Résidu insoluble	0.65	1.21	2.64	0.44	2.66	18.00	»	»
Humidité	7.28	8.82	»	4.56	5.34	9.00	»	»
Acide phosphorique, silice, chaux, etc.	0.54	1.07	»	3.29	1.20	»	0.26	0.24
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Degrés alcalimétriques	56°	53°,1	55°	54°,4	31°,6	40°	59°,7	69°,5

[1] C'est surtout dans les potasses de betteraves que le cyanure est abondant : lorsqu'elles ont absorbé un peu d'humidité à l'air, et qu'on les chauffe, elles produisent un abondant dégagement d'ammoniaque, dû à la décomposition du cyanure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce tableau montre une grande analogie de composition entre les diverses potasses exotiques. Les proportions de leurs éléments ne varient que dans des limites assez étroites pour les produits d'un même genre. La soude se rencontre dans tous ces alcalis. Cette constatation est des plus importantes relativement aux falsifications, car un industriel qui titre le degré alcalimétrique d'un alcali peut bien prendre pour de la potasse un mélange de soude et de potasse. Nous indiquerons plus loin les nouveaux procédés qui servent à reconnaître la proportion du mélange naturel ou volontaire.

X

La potasse est un alcali relativement d'un prix élevé ; aussi les efforts de beaucoup d'industriels tendent à remplacer, partout où cela est possible, la potasse par la soude, ou par d'autres corps tels que la baryte, l'ammoniaque, etc., etc.

Dans plusieurs industries, cette substitution est un fait accompli.

L'*alun ammoniacal* a partout pris la place de l'alun potassique, dont la fabrication est aujourd'hui presque nulle, la fabrication des savons mous à base de potasse tend aujourd'hui, et surtout en France, à disparaître pour être remplacée par celle des savons durs à base de soude, qui, tout en produisant une matière aussi détersive, possède cependant l'avantage d'un prix de revient bien inférieur.

Mais jusqu'à présent la potasse est indispensable à la fabrication des verres et cristaux, pour celle du salpêtre, et enfin pour les chromates, chlorates et prussiates, sels de potasse aujourd'hui indispensables à la fabrication des allumettes et aux ateliers de teinture.

Malgré cela, la production de la potasse n'est pas en rapport avec la consommation, et, si l'on ne parvient pas à trouver de nouvelles sources, le prix de cette matière ira toujours en augmentant.

L'extraction de la potasse des eaux de la mer, au moyen d'une basse température, n'a pas fait de grands progrès, cette industrie paraît au contraire stationnaire.

La méthode de M. *Maumenée* et *Rogelet* pour le traitement des suints de peaux de mouton n'est naturellement applicable qu'à une production limitée ; nous n'avons donc à citer ici que l'exploitation en grand des couches de chlorures potassiques, qui dans de certaines contrées de l'Allemagne recouvrent les dépôts de sel gemme.

Nous devons enfin à M. Ward un nouveau moyen pour extraire toute la potasse du *feldspath*, au moyen de l'attaque *calcifluorique*. Le traitement direct des roches primitives pourrait aussi nous fournir à bas prix des quantités considérables de potasse, à l'état carbonaté ou caustique, si les moyens indiqués par M. Ward sont susceptibles d'une exploitation commerciale.

L'origine première de la potasse que les végétaux puisent dans le sol est le feldspath. Pourquoi ne pas chercher à en extraire directement cette potasse? — Telle est la base du procédé de M. Ward.

Le sel marin, soumis à un traitement chimique, fournit la soude, pourquoi le feldspath, convenablement traité, ne nous abondonnerait-il pas la potasse qu'il renferme? — M. Ward utilise la grande affinité alcaline de la chaux en la faisant agir sur du feldspath pulvérisé, et en donnant à sa matière la fluidité nécessaire aux réactions par l'emploi du fluorure de calcium. Son moyen de traitement consiste donc à chauffer au rouge un mélange de feldspath, de spath-fluor et de chaux, à transformer la potasse du feldspath en fluorure de potassium.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce fluorure de potassium traité par la chaux donne directement de la potasse caustique.

Le fait réellement nouveau de l'Exposition, relativement à la production de la potasse, consiste dans l'exploitation sérieuse des chlorures de *Stassfurt* près de Magdebourg en Prusse. Il a d'autant plus d'importance que les sources actuelles de production commençaient à nous manquer.

C'est vers 1850 que l'on découvrit, à *Stassfurt*, que sous la puissante couche de sel gemme existait une couche d'argile renfermant des veines de chlorures de potassium, de sodium et de sulfate de magnésie.

Dès 1861, M. Peters donnait l'analyse suivant des dépôts de Stassfurt :

Chlorure de potassium	19,16
— de sodium	32,84
— de magnésium	17,08
Sulfate de magnésie	15,09
— de chaux	2,04
Matières terreuses, et eau	13,79
	100,00

19,16 de chlorure de potassium correspondent à 12 de potasse.

Dans le même gisement, mais dans des couches supérieures, M. Rose a trouvé :

Chlorure de potassium	24,26
— de magnésium	30,57
Eau et divers	45,16
	100,00

24,27 de chlorure de potassium correspondent à 12,8 de potasse.

Jusqu'en 1860 les sels de Stassfurt n'ont été exploités que comme engrais : en l'année 1861, 200 tonnes seulement représentent le chiffre de l'extraction, mais, depuis, cette exploitation a pris un développement considérable, et aujourd'hui les Allemands construisent de vastes établissements pour l'extraction de la potasse contenue dans ces riches minerais.

Les sels qui se rencontrent dans le puissant dépôt de *Stassfurt* comprennent six substances principales rangées comme suit :

La *stassfurtite*, variété de boracite ;
La *tachydrite*, chlorure double de calcium et de magnésium ;
La *carnalite*, chlorure double de potassium et de magnésium ;
La *kieserite*, sulfate de magnésie ;
Le *sel impur*, chlorure de sodium chargé de magnésie ;
Enfin le *sel gemme*, dont la couche atteint une épaisseur de 500 mètres sur une surface de 1,400 kilomètres carrés.

C'est la carnalite qui est destinée à nous fournir la potasse.

Elle contient en moyenne, après broyage et triage :
15 à 20 chlorure de potassium ;
20 à 22 chlorure de sodium ;
20 à 25 chlorure de magnésium ;
20 à 25 sulfate de magnésie ;
Le reste en eau.

Le sel naturel ou minerai broyé est traité en vase clos au moyen de grands appareils en tôle dans lesquels la dissolution s'opère à la vapeur et à l'aide d'un brassage mécanique combiné avec l'agitation causée par l'injection de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères de pression.

Dix mille kilogr. de *Kalisalz* sont dissous dans 8 mètres cubes d'eau et fournissent une liqueur s'écoulant dans des cristallisoirs en tôle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Par le refroidissement, on trouve dans ces bassins :

1° Au fond, des cristaux contenant environ 60 p. 100 de chlorure de potassium ;

2° Sur les cotés, des cristaux dont la richesse est de 70 p. 100 de chlorure de potassium.

Lavés et égouttés, ils constituent un mélange de cristaux contenant 85 p. 100 de chlorure de potassium.

Le reste est du sel marin. Les sels de magnésie n'ayant pas été dissous, le produit ainsi épuré n'en contient plus.

Les eaux mères évaporées à feu nu ou à la vapeur donnent, après un nouveau refroidissement, un autre chlorure double de potassium et de sodium, d'où on extrait de nouveau les sels de potasse par cristallisation en petit.

Tous les chlorures de potassium ainsi obtenus sont desséchés à l'étuve, puis broyés et mélangés pour constituer un ensemble riche à 82 p. 100 en moyenne, et ne contenant plus que 16 de sel marin.

Les fabriques groupées aujourd'hui sur le gisement prussien produisent plus de 1500 tonnes de chlorure de potassium par mois.

Le chlorure à 82 p. 100 se vend actuellement à Paris 22 à 25 francs les 100 kilogr.

Ces chlorures sont ensuite transformés en carbonate de potasse ou en potasse caustique. Aujourd'hui, grâce à la production des mines de *Stassfurt*, l'épuisement des sources de la potasse n'est plus à craindre ; aussi est-on préoccupé maintenant de trouver des débouchés pour les sels de potasse que ces riches gisements fournissent sous diverses formes.

XI

Autrefois, les soudes naturelles d'Espagne, celles du Languedoc, de l'Italie, de la Provence, et le natron d'Égypte, subvenaient à nos besoins ; l'industrie en général en employait peu, l'entier de la production était consommé par les savonneries, et encore se fabriquait-il des savons durs à base de potasse transformés ensuite en savons à base de soude par l'addition de sel marin [1], l'abondance des forêts et le bas prix de la potasse, relativement à celui de la soude, permettaient cette fabrication de savons durs par double décomposition, que les conditions économiques ont rendue aujourd'hui impossible.

Dans l'état actuel de l'industrie la production de la soude naturelle extraite directement de l'incinération des plantes qui croissent sur les plages de la mer ou sur les bords des étangs salés, tend à disparaître de jour en jour.

Marseille n'emploie plus aujourd'hui un seul kilogramme de soude naturelle, et si la production de l'iode et du brôme ne commandait pas la culture et la recherche des *varechs* et des *fucus*, cette production accessoire de soude n'existerait déjà plus en France.

Beaucoup de savons sont cependant encore fabriqués avec des soudes naturelles, surtout en Espagne, en Italie, et dans certaines parties de l'Autriche, en Hongrie notamment. La soude naturelle a la réputation de fournir un savon plus doux, moins cassant. Cette propriété évidente est due aux sels de potasse qu'elle renferme toujours.

[1] Voici la réaction :

Oléate de potasse + chlorure de sodium,
transformé en
Oléate de soude + chlorure de potassium.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les soudes naturelles se divisent en deux grandes séries, les soudes proprement dites provenant des plantes incinérées, et le natron d'Égypte.

Pour obtenir les premières, on procède comme pour l'extraction de la potasse. Lorsque les plantes ont atteint leur développement, on les fait sécher sur le sol dès qu'elles sont coupées, comme le foin, puis on les brûle en plein air dans des fosses circulaires ayant environ 1 mètre à $1^m,50$ de diamètre, et 5 mètres de profondeur. On alimente continuellement le feu par de nouvelles plantes; on prend soin de bien aérer la masse afin qu'aucune partie n'échappe à la combustion. La chaleur s'élève assez pour faire fondre la cendre qu'on laisse ensuite refroidir; au bout de quelques jours on casse cette masse dure, compacte, à demi fondue, à coups de merlin, et on embarille immédiatement les morceaux qui sont livrés au commerce sous le nom du pays producteur.

Les plantes que l'on utilise à cette production simple d'alcali varient suivant les diverses contrées. En Espagne ce sont les *salsola soda*, ou *barille*. A Ténériffe c'est surtout une petite plante grasse et charnue, la *ficoïde glaciale* (*mesembryanthemum cristallinum*), en Languedoc et dans la Province, les *salicors*, les *chenopodiums*, les *salsola-kali*, les *salicornia annua*, etc., etc.

Sur les côtes de Bretagne et de Normandie, notamment aux environs de Cherbourg, ce sont les *fucus*, *varechs*, *goëmons*, plantes singulières qui croissent dans la mer, et que celle-ci rejette sur les bords, et que l'on enlève à marée basse.

Le *natron d'Égypte* est un sesqui-carbonate de soude, c'est-à-dire un carbonate de soude contenant 1 fois et demie autant d'acide carbonique. C'est probablement le premier alcali connu; autrefois les Égyptiens le recueillaient déjà comme sel lixiviel.

Le natron existe en dissolution dans les eaux de plusieurs lacs de l'Égypte et de l'Afrique, de Hongrie, de la Perse, des Indes, du Venezuela et du Mexique.

Quand ces lacs se dessèchent pendant la saison chaude, on recueille le natron déposé dans leur lit en incrustations salines.

« La formation du carbonate alcalin, dans les lacs du désert du Thaïat « (Haute Égypte), paraît due à la réaction du sel marin sur le carbonate cal- « caire, aidée par la forte efflorescence du carbonate de soude qui amène ce « sel à la superficie, et par la facile infiltration, dans le sol, du chlorure de cal- « cium déliquescent. Les petites sources naturelles qui dissolvent les efflores- « cences se réunissent dans neuf lacs, s'y concentrent spontanément, affectant « une coloration rouge provenant sans doute d'êtres organisés, animaux ou « végétaux (crustacés branchiopodes ou Protococcus). Après les chaleurs on « ramasse les incrustations salines formées de sesquicarbonate de soude (2 NaO, « 3 CO^2 + 4 HO), de sel marin, de sulfate de soude et de quelques centièmes de « matières insolubles (Payen). »

Il vient encore quelquefois un peu de natron à Marseille, mais généralement cet alcali n'est plus employé en France.

Aujourd'hui c'est du sel marin, chlorure de sodium que les eaux de la mer contiennent en si grande quantité, que nous extrayons indirectement la soude nécessaire à notre industrie.

Autrefois, la plus grande partie des soudes venaient d'Espagne, c'était, du reste, les meilleures. Les produits d'Alicante, de Carthagène, de Malaga étaient surtout renommés.

Lorsque pendant les grandes guerres de la Révolution tout commerce était interrompu entre les deux pays, que nos principaux ports étaient bloqués ou au pouvoir des ennemis, la Convention nationale fit un appel aux chimistes français pour les engager à rechercher les différents moyens manufacturiers d'extraire la soude du sel marin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi tous les procédés alors proposés, six furent choisis par la commission spéciale composée de Darcet, de Pelletier, de Lelièvre et de Girout; ces chimistes examinèrent particulièrement les procédés suivants : 1° décomposition du sel marin par la litharge produisant de la soude et du chlorure de plomb (Scheele); 2° traitement du sulfate de soude par le charbon, puis du sulfure de sodium par le fer métallique (Malher, Athenas, Alban) produisant de la soude et du sulfure de fer; 3° décomposition du chlorure de sodium par la chaux qui donnait un peu de soude carbonatée en efflorescence (Carny); 4° décomposition du chlorure de sodium par le sulfate de fer, à l'aide de l'eau, puis de l'air à haute température, produisant du sulfate de soude et du peroxyde de fer (Malher et Athenas); 5° décomposition du sulfate de soude par le charbon, où l'on n'obtenait que du sulfure de sodium et non de la soude (Ribeaucourt); 6° enfin le procédé de Leblanc [1], choisi par la commission, et, chose remarquable, invention qui s'est conservée intacte au milieu de la grande transformation des arts chimiques. Cette industrie, d'origine toute française, existe maintenant dans le monde entier, et livre annuellement à la consommation plus de 300 millions de kilogrammes de soude brute, ou son équivalent en sels de soude.

Leblanc préparait d'abord le sulfate de soude en décomposant le sel marin par l'acide sulfurique dans une chaudière en plomb placée sur un fourneau dans la cheminée.

L'acide chlorhydrique dégagé était entraîné avec les produits de la combustion; la décomposition s'opérait en partie, mais ne pouvait être complète dans une chaudière en plomb; lorsque le mélange devenait pâteux, il était indispensable de l'enlever pour l'étendre sur des dalles en pierre siliceuse : il se dégageait alors des torrents de gaz acides très-insolubles.

Le sulfate de soude incomplet, refroidi, était concassé et introduit dans un four à réverbère où la décomposition, s'achevant à une haute température, donnait du sulfate de soude calciné.

Leblanc eut ensuite l'idée d'ajouter de la craie (carbonate de chaux) au mélange de sulfate de soude et de charbon, et détermina d'une façon précise non-seulement les doses indispensables à cette décomposition, mais encore l'excès nécessaire, que seul pouvait rendre insoluble le sulfure en formant une combinaison double, ignorée alors (oxysulfure de calcium).

— « C'est encore aujourd'hui un sujet d'étonnement et d'admiration que la

[1] Nicolas Leblanc, né à Issoudun en 1753, mort en 1806, chirurgien de la maison d'Orléans avant la révolution, est surtout célèbre par l'invention du procédé de l'extraction de la soude du sel marin. C'est en 1784, qu'il commença ses recherches; en 1790, il s'associa, pour l'exploitation en grand de son procédé, le duc d'Orléans, Henri Shée, administrateur des deniers du prince, et Dizé, préparateur de chimie au Collége de France. Une usine fut créée à la maison de Seine près de Saint-Denis, mais bientôt les événements de la révolution amenaient le séquestre des biens de la famille d'Orléans, et par suite celui de la fabrique de Leblanc. Ce dernier s'était assuré la propriété de son procédé par un brevet d'invention du 25 septembre 1791; mais, à l'appel du Comité de salut public, qui demandait le sacrifice généreux de toute espèce de secret pour la patrie, Leblanc autorisa la publication de son procédé, que chacun put alors librement mettre en pratique. Mais Leblanc avait été ruiné; aux prises avec la misère, fatigué de ses longues et inutiles tentatives pour obtenir justice, repoussé comme plus tard Fulton par celui qui s'était cru le maître absolu de la France, impuissant à arracher sa famille à la détresse, il tomba dans la misère et se tua.... ! On a voulu lui enlever même le mérite de sa découverte; on a revendiqué plus tard pour Dizé une part égale à l'invention, mais une enquête ouverte plus tard au sein de l'Académie des sciences à mis hors de doute que Leblanc est bien le seul inventeur du procédé de fabrication de la soude artificielle, et que les recherches faites en commun par Dizé et Leblanc n'eurent pour but que de mieux déterminer la proportion de matières à employer (Girardin).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précision avec laquelle Leblanc établit, par la voie expérimentale, les doses, que la théorie est venue justifier depuis, et qui dès lors tenaient compte de l'impureté du sulfate, de la quantité de charbon brûlé par l'air, ou resté inerte dans le mélange. » (Payen).

Voici les proportions indiquées par Leblanc, ainsi que celles que l'on observe aujourd'hui :

DOSAGE DE LA FABRICATION DE LA SOUDE.

MATIÈRES PREMIÈRES.	DOSAGE DE LEBLANC.	DOSAGE ACTUEL.	
		pour SOUDE RICHE.	pour soude DES BLANCHISSEURS.
Sulfate de soude.....	2000	2000	2400
Carbonate de chaux.....	2000	2000	2000
Charbon.....	1000	1000	1050

Voici comment l'on opère aujourd'hui dans les grandes usines de Marseille, de Chauny, de Dieuze, de Rouen, de Than, de Lille, etc.

La décomposition du sel marin s'opère soit dans des cylindres en fonte lorsqu'on veut recueillir l'acide chlorhydrique, soit dans des fours à réverbères, lorsque, comme à Marseille, cet acide a tellement peu de valeur, qu'on n'a aucun intérêt à le recueillir.

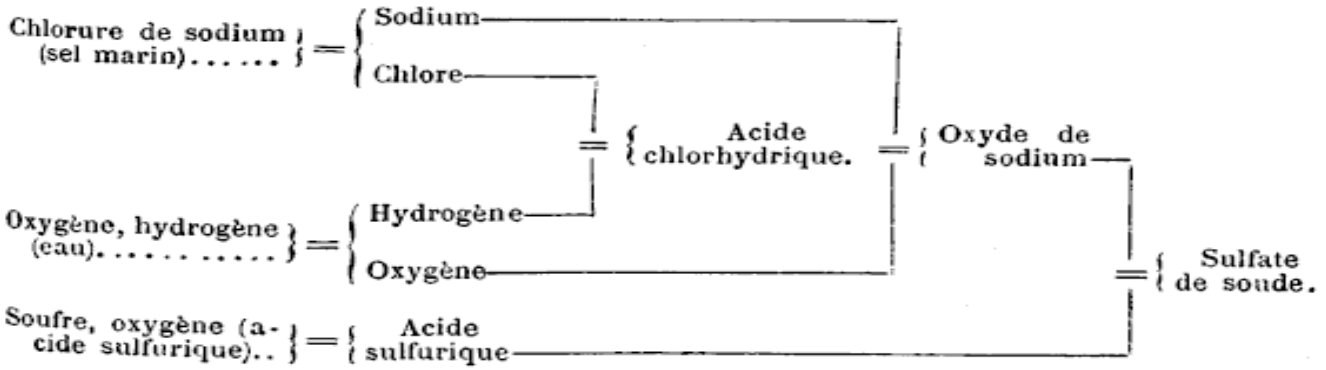
Dans le premier cas, des séries de cylindres sont placées horizontalement dans un four à voûte : dans chaque cylindre, on introduit :

100 kilos de sel marin.....
134 kilos d'acide sulfurique à 50°..
15 d'eau.....
} qui produisent 110 kilos de sulfate de soude et 208 kil. d'acide chlorhydrique en dissolution dans l'eau. Densité : 22°.

Cette réaction est d'ailleurs très-simple :

Sous l'influence de l'acide sulfurique, l'eau du mélange se trouve décomposée, et ses deux principes, en se combinant à ceux du sel marin, c'est-à-dire au chlore et au sodium, donnent naissance à du gaz acide chlorhydrique et à de l'oxyde de sodium, qui s'unit ensuite à l'acide sulfurique pour former le sulfate de soude. Le tableau suivant, dressé par M. Girardin dans son cours de chimie, indique bien les réactions :

FORMATION DU SULFATE DE SOUDE.



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le sulfate de soude, extrait des cylindres ou des fours à réverbère, est déposé sur une sole en pierre siliceuse, sur laquelle il se refroidit.

La conversion du sulfate de soude en carbonate s'opère encore dans des fours à réverbères, sous l'influence d'une température très-élevée. On a beaucoup disserté sur la forme des fours ; Leblanc et Dezé employaient des fours de petites dimensions et rectangulaires, chauffés par un grand foyer ; Payen, au contraire, trouve ces trois conditions défavorables à la régularité de la température et à l'économie du combustible, et construit ses fours à sole elliptique, chauffée par un foyer moins grand ; puis enfin Darcet et les fabricants de Marseille augmentent considérablement les dimensions, et arrivent à avoir d'immenses fours de 24 mètres de surface, produisant jusqu'à 20,000 kilogrammes de soude par jour.

Souvent même, maintenant, deux et plusieurs fours, chauffés par le même foyer, sont construits à la suite les uns des autres. Dans le premier, celui qui est près du foyer, s'opère la fabrication de la soude (sulfate de soude, charbon, craie), et, dans les autres, la décomposition du sel marin par l'acide sulfurique.

Les réactions sont toujours les mêmes et se passent de la façon suivante :

Le sulfate de soude concassé est réduit en poudre grossière, et mélangé avec de la craie et du poussier de bois ou de la houille pulvérisée dans le rapport de

100 de sulfate de soude.....
100 de craie.....
55 de charbon..... } pulvérisés et mélangés.

Ce mélange est projeté dans un four à réverbère porté au rouge vif ; on étend ces matières sur la sole du four, en ayant soin d'étendre la couche régulièrement. Dès que la croûte supérieure du mélange commence à fondre, on sillonne la matière à l'aide de *ringards*, sorte de râteaux en fer, à deux larges dents écartées. Cette opération a pour but de mélanger les parties liquéfiées ou pâteuses avec celles qui sont encore pulvérulentes, de s'opposer aussi à l'entraînement dans la cheminée, et de préparer la fusion des couches inférieures.

On laisse une seconde fois la fusion se propager, puis on sillonne encore, après quoi on active le feu et le tirage en ouvrant le registre de la cheminée.

Une troisième reprise semblable amène bientôt la totalité du mélange à un état pâteux : dès lors on favorise la fusion, en agitant toujours avec des ringards par chaque porte du four, de manière à renouveler les surfaces et à faire pénétrer partout la chaleur. La matière devient bientôt plus fluide, des bulles de gaz (oxyde de carbone, hydrogène carboné, hydrogène sulfuré) se dégagent avec une grande énergie, et viennent s'enflammer à la surface du mélange, qui semble bouillonner, et comme surmonté d'une infinité de petits cratères par où s'échappent les gaz à flammes blanches ou bleuâtres.

Il convient alors de brasser le plus possible et de hâter le terme de l'opération, afin d'éviter une perte de soude par la volatilisation, et une fusion complète de la matière qui, ne restant plus poreuse, serait difficile à broyer, à hydrater et à lessiver.

On se hâte de tirer la soude du four, dès que la matière, étant assez fluide, le nombre et l'étendue des jets de flamme ont beaucoup diminué.

Attirée par de larges racloirs en fer vers les portes du four, elle tombe dans de petites brouettes également en fer, qui vont la déverser sur une aire en pierre où elle se refroidit.

On recharge alors le four comme la première fois. Ce travail continue jour et nuit sans interruption, de même que les fours à sulfate, jusqu'à ce que des réparations indispensables forcent d'arrêter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

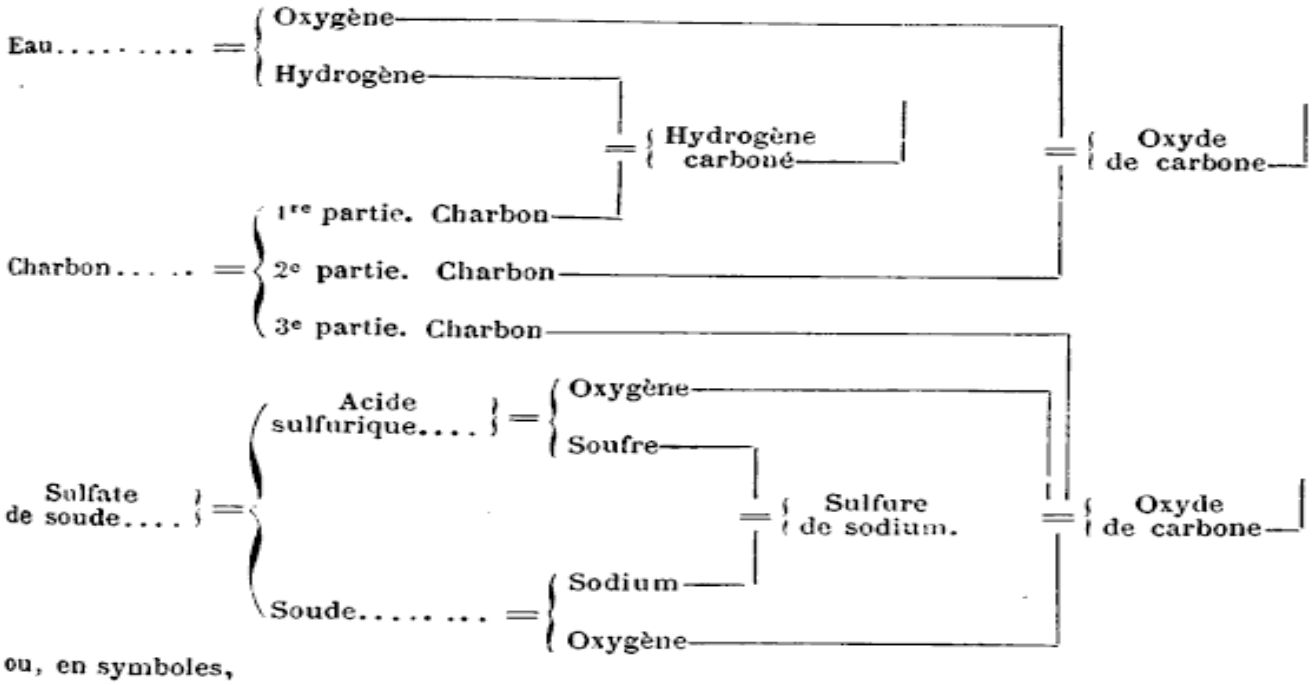
— « Une charge se compose, en moyenne, d'environ 2,500 kilogrammes de matière mélangée, et de 150 kilogrammes d'eaux mères provenant du raffinage. On brûle pour le chauffage, en 24 heures, 2,800 à 3,000 kilogrammes de houille. Le service est fait par six chauffeurs, et six servants, qui forment trois brigades, se relayant de huit en huit heures. On compte 30 minutes pour introduction et étalage du mélange, 30, 25 et 20 minutes pour 1e, 2e et 3e brassages, 20 minutes pour dernier brassage et pour retirer du four : le travail est donc de 135 minutes; le repos, dans les intervalles, est de 105 minutes, la durée totale d'une cuite étant de quatre heures.

« On fait en 24 heures six opérations, qui donnent chacune de 1,500 à 1,600 kilogrammes de soude brute, à 38° de l'alcalimètre. » (Payen.)

La théorie de la fabrication de la soude est un peu compliquée. Nous empruntons encore à M. Girardin les tableaux suivants. Admettons que la réaction s'accomplit en deux époques distinctes et successives.

Dans la première, le charbon ramène le sulfate de soude à l'état de sulfure de sodium, en lui enlevant tout son oxygène et en passant à l'état d'oxyde de carbone; celui-ci se dégage accompagné d'hydrogène carboné, résultant de la décomposition par le charbon rouge de l'eau contenue dans les matières.

FORMATION DE LA SOUDE.



ou, en symboles,

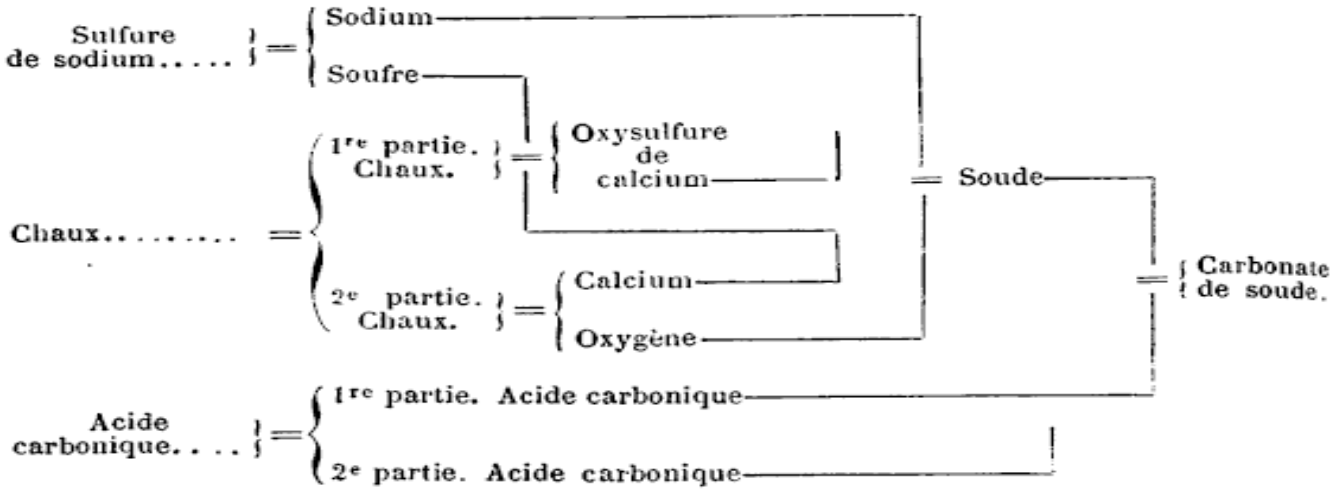
$$2(NaO,SO^3) + 4HO + 14C = 2NaS + 12CO + C^2H^4.$$

Dans la seconde période, le sulfure de sodium et le carbonate de chaux se décomposent réciproquement pour former du sulfure de calcium et du *carbonate de soude;* mais, comme cette réaction s'opère à une température à laquelle la craie se décompose facilement, il en résulte qu'une partie de la soude reste caustique et non carbonatée. De plus, comme il y a toujours un excès de chaux, celle-ci s'unit au sulfure de calcium et le rend complétement insoluble dans l'eau; c'est alors de l'oxysulfure de calcium.

Nous pouvons représenter cette seconde phase des réactions générales, comme suit :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FORMATION DE LA SOUDE.



Soit $2NaS + 3CaO,CO^2 = 2NaO,CO^2 + (CaO,2CaS) + CO^2$ (Oxysulfure de calcium.)

La proportion de soude libre, dans le produit général, est d'autant plus considérable, qu'on a forcé davantage la dose du charbon, et qu'on a porté le mélange à une température plus élevée. On trouve dans le commerce des soudes qui contiennent 10 et 15 p. 100 d'alcali libre. (Girardin.)

Nous compléterons plus loin ces données, par la fabrication du sel de soude.

COMPTE DE FABRICATION DES SOUDES ET DES PRODUITS ACCESSOIRES A MARSEILLE.

Afin de donner tous les renseignements complets sur la fabrication de la soude, industrie si importante aujourd'hui, nous donnons les prix de revient des matières premières, et du produit fabriqué dans une des localités les mieux situées en France sous ce rapport, Marseille.

ACIDE, SULFATE DE SOUDE ET SOUDE A MARSEILLE.

Fabrication de l'acide sulfurique à Marseille (24 heures).

Soufre, 1600 kilos. à 15 fr.	240fr,00
Azotate de soude, 96 kilos. à 50 fr.	48 ,00
Houille, 24 hectolitres à 1fr,66	39 ,84
10 ouvriers à 3fr,60 (moyenne)	36 ,00
Frais généraux, divers	30 ,16
	394fr,00

Produit : 4280 kilos d'acide sulfurique pur à 66°, ou son équivalent à 50° tel qu'il sort des chambres.

L'acide sulfurique à 66° revient donc à 8 fr. 75 les 100 kilogrammes, celui sortant des chambres à 50 ou 52° coûte 3 fr. 60 et 4 francs les 100 kilogrammes.

Fabrication journalière du sulfate de soude dans 3 fours doubles dits Calcines, *décomposant ensemble 4800 kilog. de sel marin.*

Sel marin, 4800 kilos à 3fr,20	153fr,60
Acide sulfurique à 50°, 6420 kilos à 3fr,58	229 83
A reporter	383fr,43

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Report.....	383fr,43
Houille, 25 hectol. à 1fr,66.....	41 ,50
6 ouvriers à 3fr (moyenne).....	18 00,
Frais généraux.....	» »
	442fr,93

Produit : 5280 kilos de sulfate de soude.

Le sulfate de soude revient donc à 8 fr. 38 les 100 kilos, non compris les frais généraux.

Fabrication journalière de la soude brute dans 4 fours où l'on fait 8 cuites par 24 heures, en totalité, 32 opérations.

Sulfate de soude, 11200 kilos à 8 fr,38.....	938fr,56
Calcaire en poudre, 11200 kilos à 0fr,50.....	56 ,00
Houille tamisée, 5000 kilos à 2fr,30.....	115 ,00
Houille pour combustible, 72 hectol. à 1fr,66.....	119 ,50
8 ouvriers et 8 aides à 3 fr. (moyenne	48 ,00
Frais généraux.....	» »
Total.....	1277fr,06

Produit : 16800 kilos de soude brute titrant 30 à 35 degrés alcalimétriques.

La soude brute revient donc à 7 fr. 60 les 100 kilos, frais généraux non compris.

Les soudes naturelles ont une composition complexe et essentiellement variable, celles de varechs sont peu riches en carbonate de soude, elles contiennent surtout du sel marin et des sels de potasse.

Voici leur composition, d'après M. Girardin :

COMPOSITION DES SOUDES.

Soudes naturelles en Espagne.	*Soude de varechs.*	
Carbonate de soude (dominant).	Carbonate de soude.....	2 %
Sulfate de soude.	Sel marin.....	33 à 75 %
Sel marin.	Sulfate de potasse.....	
Sulfure de sodium.	Chlorure de potassium.....	
Carbonate de chaux.	Carbonate de chaux.....	42 à 67 %
Alumine..... unis en partie à la soude.	Oxysulfure de calcium.....	
Silice..... unis en partie à la soude.	Phosphates de chaux et de magnésie.....	
Oxyde de fer.	Silice et charbon.....	
Charbon.	Iodures et bromures.....	quelques millièmes.
Phosphates de chaux et de magnésie.		

Le natron diffère essentiellement des soudes naturelles composées surtout de carbonate de soude. Dans le natron, l'oxyde de sodium n'existe plus à l'état de carbonate neutre, c'est du sesquicarbonate, c'est-à-dire un sel contenant une fois et demi autant d'acide carbonique que le premier :

$$NaO,\ CO^2 = \text{carbonate de soude.}$$
$$2NaO,\ 3CO^2 = \text{sesqui-carbonate de soude.}$$

Voici maintenant, pour les diverses espèces de soudes commerciales, un tableau analogue à celui que nous avons dressé pour les potasses :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SOUDES COMMERCIALES.

NOMS ET ORIGINES DES SOUDES.	EXTRACTION.	DEGRÉS ALCALIMÉTRIQUES.	ASPECT, COULEUR, CAUSTICITÉ.
Soudes naturelles..... Alicante. .	Plantes marines....	35 à 60	En poussière et en petites masses d'un gris cendré.
Carthagène	Salsola soda.....	30 à 32	
Ténériffe. .	Ficoïde glaciale....	28 à 32	Gris-noir.
Varechs...	Varechs, fucus, goëmons.....	4 à 5	Poussière noirâtre, peu caustiques.
Salicor de Narbonne.....	Salicor, salsola soda.	13 à 14	En poussière et en petites masses d'un gris cendré. Peu caustiques.
Blanquette d'Aigues-Mortes.....	Barille, salsola kali.	3 à 10	
Natron d'Égypte.....	Évaporation spontanée des eaux des lacs.....	45 à 50	En petites masses cristallines, blanc sale ou blanc rougeâtre. Non caustiques.
— de Barbarie.....		20 à 40	
— de Hongrie.....		30 à 40	
Soude factice de Marseille	Du sel marin	25 à 39	En masse spongieuse, d'un gris rougeâtre et bleuâtre, mélangée de craie et de charbon. Légèrement caustiques.
— de St-Gobain	— —	22 à 40	
— de Rouen...	— —	18 à 38	

XII

Nous ne dirons que quelques mots de la fabrication connue du sel de soude. La soude brute ne contient que 25 à 35 p. 100 d'alcali, il faut donc la lessiver, puis évaporer le produit soluble. La liqueur sortant d'un lessivage méthodique, avec une densité de 26 à 27°, s'écoule dans de grandes bassines en tôle placées à la suite d'un four à réverbère, et, chauffées par sa chaleur perdue, elles sont disposées de façon à ce qu'elles puissent déborder les unes dans les autres. Le liquide, en se concentrant, laisse déposer du carbonate de soude, que l'on enlève avec une pelle-écumoire du fond de la chaudière, puis il est envoyé dans un four à réverbère maintenu à une haute température. Dès que le liquide arrive sur la sole du four, l'ébullition vive le boursoufle, et la matière étendue se dessèche; on l'agite alors avec un ringard en fer, afin de diviser et de granuler le sel. On cesse momentanément de faire couler le liquide alcalin et l'on extrait le sel de soude dès qu'il est sec, pulvérulent ou granuleux et blanc, puis on recommence une seconde opération semblable.

Le sel de soude ainsi obtenu est blanc, en petits fragments, analogue à de la potasse de Russie, et possède une saveur alcaline très-prononcée. Il renferme de 70 à 85 p. 100 de carbonate de soude, il contient toujours un peu de sel marin et de sulfate de soude, on trouve même des sels de soudes dits à *bas degrés*, qui ne sont qu'un mélange de carbonate de soude et de sel marin mélangés ensemble au four à réverbère.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On trouve encore dans le commerce, sous le nom de *cristaux de soude*, un carbonate de soude cristallisé en gros prismes rhomboïdaux ou en pyramides quadrangulaires, à sommets tronqués et appliqués base à base. Ils sont obtenus par la cristallisation de la lessive de soude portée à 30°. Ces cristaux transparents contiennent environ 62 p. 100 d'eau de cristallisation, aussi sont-ils très-efflorescents. Sous cette forme, le carbonate de soude est beaucoup plus pur qu'à l'état de sel de soude ; voici leur composition relative :

	Sel cristallisé.	Sel desséché au four ou précipité.
Carbonate de soude.....	36,47	98,12
Sulfate de soude.....	0,94	1,07
Chlorure de sodium.....	0,42	0,74
Eau de cristallisation.....	62,15	»

$NaO, CO^2, 10HO$: telle serait la représentation des cristaux de soude ; celle du sel de soude desséché serait NaO,CO^2,HO.

On fabrique maintenant, en Allemagne et surtout en Angleterre, de la soude caustique, qui peut alors être employée directement à la fabrication des savons en la dissolvant tout simplement dans l'eau. Les jeux de bacs, les chaux et tout le travail embarrassant de la préparation des lessives se trouvent ainsi supprimés.

Il y a déjà quelques années que M. Dale, de Manchester, avait introduit, dans ses usines, la fabrication industrielle de la soude caustique. Traiter par la chaux des lessives de soude étendues à 10° au plus, propres dès lors à éprouver une caustification complète, évaporer ces lessives dans des chaudières de tôle close, de manière à utiliser la vapeur perdue dans cette concentration, écouler ces lessives concentrées et compléter leur évaporation dans un vase de fonte — tel était le moyen imité des laboratoires, par lequel ce produit a été livré primitivement à l'industrie.

Le procédé de M. Gossage est tout autre. Séparant la soude caustique du sel de soude lui-même, il évite aussi une mauvaise manœuvre industrielle par laquelle on carbonate un produit qui devra être décarbonaté plus tard. Voici comment on opère à Liverpool.

L'évaporation des lessives de soude brute étant effectuée, la matière que l'on conserve un peu liquide est amenée dans un vase à double fond percé de trous qui permettent l'écoulement de l'eau mère dans laquelle se trouvent concentrés la soude caustique, l'hyposulfite et le sulfure. Cette eau mère exhaussée par des pompes est transportée au sommet d'une petite tourelle en pierre remplie de coke, sur lequel elle s'écoule, pendant qu'un jet de vapeur introduit au fond détermine un appel d'air qui sert à oxyder les sulfures et les hyposulfites.

Dans sa chute de 2 à 3 mètres, la solution se décolore en grande partie. Elle est alors écoulée dans de longues chaudières en fer dont la section perpendiculaire au grand axe représente la section d'une quille de navire par un plan vertical.

On ajoute alors une dose d'azotate de soude qui représente environ 5 p. 100 de la soude caustique que contient la liqueur. On évapore et on enlève les sels à bas titre, mélange de carbonate et de sulfate provenant de l'oxydation (par le nitrate), des sulfures et des hyposulfites.

Quand la liqueur marque 1,5 de densité, et qu'elle ne dépose plus sensiblement de matières solides, on la laisse couler dans un vase hémisphérique en onte où on la concentre par la fusion ignée.

Pendant ces diverses phases de l'opération et notamment pendant la dernière,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'azotate de soude est décomposé ; il se dégage de l'azotate, de l'ammoniaque et de l'oxygène. Quand la soude, arrivée à l'état de fusion presque exclusivement ignée, contient 75 p. 100 de son poids de soude anhydre, on la moule dans des cylindres de tôle très-mince, dont les joints sont rendus provisoirement étanches avec un peu de plâtre. Dans cet emballage imperméable et peu coûteux, la soude caustique maintenue à l'abri de l'humidité peut être facilement transportée dans les contrées les plus éloignées.

Cet alcali caustique, parfois coloré légèrement en vert par un peu de manganèse, est exempt de fer, car il a été précipité à l'état de peroxyde insoluble, et même exempte d'alumine déposée dans le cours de l'opération à l'état de silicate.

Cette soude caustique, dont l'usage commence à se répandre en Allemagne, en Italie et en Espagne, peut rendre de grands services à l'industrie, surtout dans les contrées peu industrielles, où la fabrication de la soude brute n'est pas encore établie.

Nous terminerons enfin cette étude des alcalis en disant quelques mots d'une nouvelle découverte destinée, en cas de succès, à révolutionner l'industrie de la soude.

M. Hunter a découvert que la chaux vive décompose le sulfate de soude sous l'influence d'une pression énergique. On produirait ainsi de la soude caustique par deux opérations seulement : 1° décomposition du sel marin par l'acide sulfurique, en suivant le mode de fabrication actuel ; 2° décomposition du sulfate de soude par la seule action de la chaux caustique.

Nous l'avons dit plus haut, l'Exposition ne nous présente aucun fait saillant dans la fabrication des alcalis, autre que la découverte et l'exploitation sérieuse des gisements de Stassfurt.

Nous avons cependant trouvé, dans la section belge, un système d'appareils de lixiviation ou de lavage méthodique, comme le nomme son inventeur, système qui nous paraît présenter des avantages, et que nous allons sommairement décrire, d'après l'indication de l'inventeur lui-même.

Divers moyens sont employés à la dissolution et au lessivage de la soude brute. Tous exigent une main-d'œuvre considérable, ou risquent de laisser perdre des produits non dissous.

La méthode la plus simple consiste à lessiver par *simple filtration* des liquides de moins en moins saturés sur de la soude concassée et placée dans des bassins. C'est celle qui nécessite la plus grande main-d'œuvre.

La *filtration méthodique* permet d'obtenir un lessivage parfait, tout en réalisant une grande économie de main-d'œuvre; vient enfin la méthode de *déplacement*, dans laquelle la soude placée dans des caisses mobiles, enlevée par un treuil, est mise en contact avec des solutions de moins en moins chargées, au fur et à mesure que les caisses sont elles-mêmes moins riches en alcali.

Laissons parler M. Havrez l'inventeur de ce système. (Voir la planche 237.)

Les recherches faites depuis un demi-siècle dans le but d'extraire économiquement les principes solubles, ont finalement conduit à adopter un déplacement en sens inverse (dit méthodique) du liquide dissolvant et de la substance à lessiver. [Ces substances sont notamment : la terre salpêtrée, la soude brute, la pulpe sucrée de betterave, les copeaux de bois colorants, les cendres de bois, le ferrocyanure brut, le graines oléagineuses, la laine en suint, le sel gemme, les terres alunifères grillées, les os grillés, les mattes cuivro-argentifères sulfatées par grillage (procédés d'Augustin et de Ziervogel)].

Ce déplacement a d'abord été obtenu en faisant descendre le liquide suivant un plan

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

incliné, tandis que le solide logé dans des caisses perforées était, par intervalles, avancé vers le haut du plan incliné. — Ainsi le liquide pur qui entre, commence à se charger en dépouillant la substance épuisée de ses dernières parcelles solubles; il se charge de plus en avançant à l'encontre de parties de plus en plus solubles; et il sort en se saturant par son passage sur la substance qui entre toute chargée.

Un progrès important a été réalisé dans les dernières années : on a laissé le solide immobile, mais on a changé continuellement les points d'arrivée et de sortie du liquide, en approchant chaque fois son entrée de la partie devenue la plus épuisée, et sa sortie du point le plus chargé.

Dans cette disposition les cuves posées au même niveau sont reliées entre elles de manière à communiquer méthodiquement ; à cet effet elles sont munies chacune de quatre tuyaux obstruables : le premier amène au haut de chaque cuve le liquide déjà chargé venu du bas de la cuve précédente où est une substance relativement épuisée; le deuxième tuyau prend au bas de chaque cuve le liquide le plus lourd, le plus chargé, pour le conduire au haut de la cuve suivante qui contient une substance relativement riche ; le troisième tuyau est destiné à déverser le liquide pur dans la cuve, lorsqu'après le passage de liquides de moins en moins chargés, la substance s'y trouve presque épuisée et doit être d'abord traversée par le liquide en circulation. (Ces trois tuyaux sont obstrués quand on décharge et remplace la substance épuisée.) Le quatrième tuyau est un syphon de vidange qui soutire de la cuve le liquide propre à l'emploi, lorsque cette cuve, venant d'être chargée de substance riche, est la dernière traversée par le liquide à saturer.

Ainsi pour douze cuves de lavage il faut le nombre élevé de quarante-huit bouts de tuyaux, munis de trente-six obturateurs. Cette complication est coûteuse d'installation et presque irréalisable pour le cas d'un appareil de petites dimensions; elle exige la présence d'ouvriers intelligents.

L'emploi d'un seul robinet distributeur au lieu des trente-six obturateurs et des quarante-huit bouts de tuyau, devait amener une foule d'avantages (économies de main-d'œuvre et de frais d'établissement, sécurité et simplicité de l'installation et du service, faculté d'employer ce lessivage dans les industries chimiques où il est aujourd'hui peu praticable.)

Aussi nous avons cherché avec persévérance à surmonter les obstacles que présentait la constitution d'un tel robinet ; les qualités suivantes qu'il devait posséder étaient multiples et difficiles à réaliser : il devait ne faire communiquer méthodiquement qu'une série de cuves, tout en isolant successivement celle en déchargement, et cela *quelles que fussent les hauteurs pressantes des liquides* contenus dans les cuves voisines, il fallait qu'il les mit l'une après l'autre en relation avec l'entrée du liquide pur, ou avec la sortie du liquide saturé ; il ne devait pas s'opposer à la marche des liquides par des rétrécissements ou des coudes brusques, il devait s'appliquer à un nombre quelconque de cuves, être facilement enlevé et visité, être manié sans erreur même par un ouvrier peu intelligent.

Les premiers systèmes imaginés employaient des robinets hauts et compliqués. Une amélioration qui fut d'abord introduite consistait dans la pose des cuves de lavage tout contre le robinet dont leurs parois successives constituaient l'enveloppe. Les cuves formaient ainsi une vaste circonférence et leur séparation était constituée par des cloisons rayonnantes allant du robinet jusqu'à la paroi extérieure.

Enfin nous avons obtenu un robinet d'une grande simplicité, n'exigeant plus pour sa construction l'emploi d'un appareil spécial d'alésage. Ce robinet, exécuté par MM. *Jaspar* et *Rose*, a été adapté au centre de douze bacs formant un ensemble circulaire de 3 mètres de diamètre et de 1 mètre de haut. Il a fonctionné d'une manière parfaite et sert à extraire par l'eau le suint soluble hors des laines brutes.

L'appareil offre les trois pièces principales suivantes :

1° Un bac BB (*fig.* 1 et 2) en tôle de 3 mètres de diamètre et de 1 mètre de haut, divisé en douze compartiments égaux par douze cloisons rayonnantes *r*, *r*, et dont le fond est percé au centre d'une ouverture de 0m,33 de diamètre (planche 237).

2° Un cylindre C en fonte (*fig.* 1, 2 et 3) qu'on enfile au centre du bac. Il est percé au bas de douze ouvertures E et forme en ce point la boîte conique du robinet. Il porte deux crêtes RR rayonnantes auxquelles se boulonnent les tôles *rr*, intercalées entre les cuves. Six tuyaux KK destinés à faire remonter les liquides d'un bac à l'autre, sont ménagés entre le cylindre C, les crêtes R,R, et des plaques *pp* qui les relient alternativement. Au ba

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de cette pièce est un rebord β en fonte destiné à supporter, en s'y boulonnant, la tôle du fond du bac. (Toutes ces parties sont coulées d'un jet.)

3° Un gros robinet conique en fonte (*fig.* 4,1 et 2) divisé par les six plaques rayonnantes *gg* en six loges égales et munies chacune de deux ouvertures. La première loge, où entre le liquide pur, a une ouverture vers le haut, une au pourtour; les quatre loges suivantes ont les deux ouvertures au pourtour, elles font communiquer deux cuves entre elles (les deux ouvertures peuvent être réunies. (Voir la *fig.* 3.)

La sixième loge qui sert pour la sortie du liquide, a une ouverture ρ au pourtour et une dans la plaque de dessous pour communiquer avec le tuyau TT de sortie boulonné sous la boîte du robinet.

Suivons la marche de l'eau à travers toutes les pièces. (Des flèches indiquent cette circulation *fig.* 1 et 2.) En *c* cylindre central et au-dessus du robinet arrive l'eau pure amenée par le tuyau *tt*.

Par l'ouverture *o* cette eau pénètre dans la première loge du robinet, elle en sort au pourtour par *e*, traverse le trou fixe E, monte dans le tube carré K, et par le trou *h* de ce tube pénètre dans la première cuve 1 remplie de la substance la plus lessivée.—L'eau parcourt cette cuve de haut en bas et en s'éloignant du centre; elle en sort près de la paroi extérieure par un tuyau γ (il peut la prendre au bas sous une sorte de double fond F); il l'amène au haut du bac 1′, qu'elle traverse aussi de haut en bas en se rapprochant du centre. Là elle pénètre par E à travers le cylindre fixe C, rentre dans la deuxième loge du robinet, en sort pour remonter dans le tuyau suivant K, entre dans le bac 2, et parcourt ainsi successivement chaque bac de haut en bas; elle traverse finalement le bac 5′ plein de matière récemment chargée et par ρ rentre dans la loge (sixième) du robinet, percée en dessous, qui n'offre aucune ouverture pour laisser remonter le liquide dans le bac suivant *ii* isolé; la solution tombe dans le tuyau T.

Après quelque temps la cuve isolée *ii*′ ayant été remplie de substance riche, le robinet est tourné de manière que l'orifice ρ de sortie soit posé vis-à-vis de l'ouverture E de cette cuve alors la plus récemment chargée; en même temps les compartiments 1, 1′ rendus isolés deviennent aptes à être déchargés; le liquide qui s'y trouve est déversé par un seau dans la cuve 2′, alors la première est traversée par le liquide pur.

Ainsi le robinet par une simple succession de sixièmes de tours :

1° Introduit successivement le liquide pur au haut de la série 1, 2, 3, alternative des cuves à mesure qu'elles contiennent une matière presque épuisée ;

2° Il reprend méthodiquement au bas de chaque cuve intermédiaire 1′,2′,3′ les liquides chargés, et

3° Il les reporte au haut des compartiments suivants remplis d'une matière plus riche ;

4° Il isole successivement chaque double cuve pendant qu'on y remplace la matière épuisée;

5° Il relie chaque cuve au tuyau TT de sortie lorsqu'elle contient la matière nouvellement chargée et qu'elle laisse sortir le liquide le plus enrichi.

Tous les bons effets de la substitution d'un seul robinet à trente-six obturateurs sont donc obtenus.

M. Havrez prétend pouvoir construire cet appareil, moyennant une dépense de 1200 à 1500 francs, y compris la licence de son brevet. N'aurait-il que l'avantage du bon marché, ce système mérite d'être recommandé.

XIII

Acides gras, bougies stéariques.

L'industrie stéarique, si universellement répandue aujourd'hui, et dont l'importance s'accroît encore de jour en jour, est d'origine toute française; c'est à nos savants et à nos industriels que revient l'honneur incontesté de la découverte chimique et de l'application manufacturière de cette industrie; aussi n'est-ce pas sans raison que M. Turgan disait dans ses *Grandes Usines de France*.

« *Tout est français dans la stéarinerie.* »

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est aux travaux de MM. Chevreul, Braconnot, Gay-Lussac, Cambacérès, Dubrunfaut, Fremy, Melsens que nous sommes redevables des procédés employés. — Mais les données des savants ne suffisent pas toujours pour créer une industrie, il faut encore l'application manufacturière, qui souvent présente autant de difficultés que la découverte scientifique. A ces noms illustres ajoutons donc ceux de M. de Milly et de M. Motard.

Le premier mémoire de M. Chevreul, sur les corps gras d'origine animale, est de 1813; il en publia huit. Le dernier date de 1823, et porte la simple mention : — *Recherches sur les corps gras d'origine animale.* On y trouve le germe fécond qui devait un jour donner naissance à l'industre stéarique.

Deux ans après, en 1825, il prit, de concert avec Gay-Lussac, des brevets en France et en Angleterre pour l'application industrielle des données scientifiques décrites dans ses mémoires.

La lecture de ces brevets témoigne des prévisions justes des inventeurs. Si la plupart des procédés qu'ils indiquent sont restés sans applications industrielles, un grand nombre, au contraire, étudiés et modifiés sont encore la base fondamentale des opérations qu'on exécute aujourd'hui pour extraire l'acide stéarique des matières grasses animales et végétales. L'idée même de distillation des corps gras à l'aide de la vapeur d'eau est indiquée dans les brevets Gay-Lussac, pris en Angleterre en 1825.

Avant les travaux de M. Chevreul, Braconnot avait déjà prouvé que les matières grasses étaient composées de deux produits distincts, l'un solide, l'autre liquide, et que, dans de certaines circonstances, il était possible d'en opérer la séparation, mais c'est à M. Chevreul que nous sommes redevables de la connaissance de la constitution chimique de ces matières.

En seconde ligne, nous trouvons M. Cambacérès, qui, avec les conseils de MM. Chevreul et Gay-Lussac, tenta la fondation d'une fabrique de bougies stéariques ; après quelques années d'essais infructueux, il abandonna cette opération.

Les bougies qu'il obtenait étaient toujours jaunâtres, grasses au toucher, et présentaient surtout l'inconvénient majeur d'avoir une mèche tellement cassante, que souvent elle disparaissait au sein même de la bougie, qui alors se trouvait sans mèche.

Néanmoins, c'est à M. Cambacérès que revient l'invention de la mèche nattée actuellement en usage. MM. Chevreul et Gay-Lussac avaient bien, il est vrai, indiqué dans leurs brevets l'usage des mèches creuses, filées ou tressées, mais on ne peut retrouver dans ces dénominations la mèche à trois tresses, telle qu'elle fut appliquée et est encore appliquée aujourd'hui à la bougie stéarique, et dont l'idée appartient à M. Cambacérès.

C'est seulement après un délai de six ans que nous voyons M. *A. de Milly*, encore aujourd'hui à la tête de la plus importante usine de France, fonder, en 1831, avec M. Motard, une petite fabrique à laquelle ils donnèrent le nom de *Bougie de l'Étoile*, en raison de la barrière de l'Étoile, où était situé leur établissement.

M. Braconnot avait entrevu la possibilité de séparer les matières grasses en parties sèches et en parties oléagineuses, M. Chevreul avait dévoilé la véritable constitution des corps gras, et M. Gay-Lussac découvrait les acides stéarique, margarique, oléique, et avait démontré qu'ils avaient une base commune : la glycérine. M. Cambacérès avait poursuivi leurs recherches en les rapprochant déjà d'une tentative de production industrielle, mais ce sont MM. de Milly et Motard qui parvinrent, après d'immenses difficultés vaincues, à produire, commercialement, la première bougie stéarique.

Ces faits historiques sont généralement connus et ont soulevé devant le jury de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Londres, en 1851, ces ardentes discussions qui sont inséparables des questions de priorité, mais ces discussions ont précisément servi à assurer, d'une façon incontestable, les droits des savants et des industriels français, tout en tenant compte des perfectionnements importants réalisés à l'étranger.

Voici, du reste, comment le reconnaît le rapporteur du jury universel de Londres :

« La fabrication des bougies stéariques est basée sur la saponification des graisses et l'isolement des acides gras, dont les beaux travaux de M. Chevreul nous ont fait connaître la possibilité.

« Ce serait cependant une erreur de supposer que ces recherches ont levé les difficultés de fabrication. En effet, sept années s'écoulèrent après la publication des découvertes de M. Chevreul, sans que l'industrie parvînt à en tirer un parti utile ; mais ceci ne doit pas étonner les personnes familiarisées avec les applications manufacturières et qui apprécient la distance immense qui sépare le laboratoire du chimiste de l'atelier du fabricant. Celles-ci peuvent seules comprendre les difficultés de toute nature qu'il faut vaincre pour féconder un germe purement scientifique, et en faire naître un art nouveau plein de force et de vie.....

« Un progrès considérable dans l'industrie stéarique a été l'usage d'une matière à vil prix ; la chaux, employée comme agent saponifiant, le savon formé avec cet agent étant ensuite décomposé par l'acide sulfurique étendu d'eau. Le mérite d'avoir introduit dans l'industrie la saponification calcaire appartient à M. de Milly [1] à qui l'on doit, en outre, de grands éloges pour tout ce qu'il a fait dans l'industrie stéarique. Il suivit, en partie, la route tracée par le brevet de Chevreul et de Gay-Lussac ; mais ce qui lui fait beaucoup d'honneur, c'est d'avoir réussi où avaient échoué ses illustres prédécesseurs ; la saponification par la chaux, dans le sens industriel du mot, date de 1831.

« Comme les mèches imprégnées d'acide sulfurique, suivant le procédé Cambacérès, étaient généralement corrodées, M. de Milly prit, en 1836, un brevet pour l'emploi des borates, phosphates et sulfates ammoniacaux. Ces progrès introduits dans l'industrie stéarique par M. de Milly, et les efforts qu'il fit pour la propager dans les pays étrangers ont successivement déterminé l'extension qui lui est acquise aujourd'hui.

« Néanmoins, il restait encore de nombreuses difficultés à vaincre. Les limites de cette esquisse ne nous permettent pas de faire autre chose que de tracer les principaux traits relatifs au développement de l'industrie stéarique : nous ne pouvons donc pas reproduire, année par année, les progrès successifs qui ont eu lieu ; mais nous ne pouvons pas nous dispenser de mentionner ici les nombreux essais faits dans le but d'empêcher la cristallisation de l'acide stéarique pendant le moulage des bougies. La première tentative consista à introduire un autre acide, et quoiqu'elle réussit, en procurant le résultat désiré, le choix de la substance employée, l'acide arsénieux, avait été malheureux ; il fut de nature à compromettre l'existence de l'industrie naissante. Il est vrai que cette substance délétère n'était introduite qu'en très-petite quantité ; mais elle était incompatible avec l'hygiène, et son usage ne tarda pas à être prohibé, en France, par l'autorité, en Angleterre, par l'opinion publique, tout aussi puissante. Ici recommencèrent toutes les tribulations du manufacturier (de Milly) : de tous côtés il chercha un corps pouvant remplacer l'acide arsénieux et ne trouva rien ; enfin, après des essais innombrables, et lorsqu'il commençait à en désespérer, il rencontra deux expédients bien simples une fois trouvés ! et qui réussissaient

[1] Les brevets sont au nom de M. de Milly et de M. Motard. MM. Pelouze et Frémy, dit le rapport, ajoutent le nom de M. Motard à celui de M. de Milly.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tout aussi bien que le procédé condamné. Les modes aujourd'hui employés pour empêcher la cristallisation sont l'addition à l'acide stéarique d'une petite quantité de cire, ou un moyen plus simple encore, consiste à faire refroidir l'acide stéarique jusqu'à une température voisine de son point de congélation avant de le verser dans les moules qui ont été préalablement chauffés à la même température que les acides gras. Le refroidissement de la matière, pendant qu'elle est constamment brassée, produit une sorte de pâte liquide qui se congèle dans les moules sans effet de cristallisation. »

XIV

Les corps gras d'origine animale ou végétale présentent à l'état neutre, dans leur constitution chimique, les principes immédiats suivants :

Stéarine, margarine, oléine, dont Braconnot avait déjà avant Chevreul prouvé l'existence.

M. Chevreul a démontré que la *stéarine*, la *margarine*, l'*oléine*, et tous les produits analogues devaient être considérés, comme des sels organiques renfermant une base identique pour tous : la *glycérine* unie à un acide gras, l'acide stéarique quand il s'agit de la stéarine ; l'acide margarique quand il s'agit de la margarine, et l'acide oléique quand il s'agit de l'oléine.

Dans les corps gras neutres, le suif des animaux, par exemple, est un sel composé d'acide stéarique, d'acide margarique, d'acide oléique et de glycérine : ce sont donc des stéarates, margarates et oléates de glycérine. A la température ordinaire, les acides stéarique et margarique sont solides. Séparément et chimiquement purs ils sont fusibles :

l'acide stéarique à..... + 70°
— margarique à..... + 60°

mais le mélange en proportions diverses d'acide stéarique et margarique constituant la matière employée à la fabrication des bougies, est fusible

quand il s'agit de produits saponifiés, à..... + 55°
et quand ces produits sont obtenus par distillation, à..... + 52°

L'acide oléique au contraire est liquide, pur, il ne se fige qu'à + 5, tandis que l'acide oléique commercial est toujours plus ou moins trouble même à + 10, en raison des matières concrètes qu'il a entraînées.

Les deux premiers acides solides sont blancs, cristallins, insolubles dans l'eau ; ils possèdent une action acide excessivement faible.

L'acide oléique est, comme son nom l'indique, oléagineux.

Leur composition est conforme au tableau suivant :

	CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.
Acide stéarique.....	68	66	5
Acide margarique.....	34	33	3
Acide oléique.....	36	33	3

La glycérine, qui se forme toujours dans la production des acides gras, est un corps neutre, liquide, incristallisable, d'une consistance sirupeuse et d'une saveur sucrée ; soluble dans l'eau, dans l'alcool, elle dissout à son tour presque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tous les corps insolubles dans l'eau ou dans l'alcool et peut être considérée comme un des meilleurs dissolvants. Elle se combine avec presque tous les acides, pour former des acides doubles, et se recombine, comme nous l'a prouvé M. Berthelot, avec les acides stéarique, margarique ou oléique pour reconstituer de la stéarine, de la margarine et de l'oléine. A l'état libre, elle contient un équivalent d'eau en plus que lorsqu'elle est en combinaison ; pour la séparer de ses combinaisons, on ne pourra donc opérer qu'en présence d'un équivalent d'eau ; mais lorsqu'elle se combine de nouveau, elle abandonne cet équivalent d'eau : elle peut donc être représentée comme suit :

	CARBONE.	HYDROGÈNE.	OXYGÈNE.
A l'état libre.....	6	8	6
A l'état de combinaison.....	6	7	5

De ce qui précède, il résulte que, si l'on peut séparer les trois acides gras, on obtiendra, d'un côté, des matières concrètes, les acides stéarique et margarique, et de l'autre une matière grasse, liquide, l'acide oléique.

Les deux premières matières pourront alors être transformées par un moulage, en bougies d'autant plus sèches et plus dures, que la séparation aura été plus complète, ou, ce qui revient au même, que le point de fusion du produit obtenu sera plus élevé.

La fabrication de l'acide stéarique se réduit donc ainsi à la destruction de la combinaison des acides gras avec la glycérine, et à leur isolement, de façon à obtenir, d'un côté, les acides gras libres, et, d'un autre côté, la glycérine également libre ou en nouvelle combinaison.

Plusieurs procédés sont aujourd'hui industriellement employés pour opérer ces séparations.

Le plus simple de tous, non pas en raison de ses combinaisons, mais en raison de la simplicité de l'outillage, c'est la saponification par la chaux, c'est le plus généralement employé, en France du moins. C'est celui qui donne incontestablement les meilleurs produits, mais c'est celui qui dépense le plus, tout en ne fournissant que la plus petite quantité d'acide concret, 45 à 48 p. 100 au plus. Nous verrons plus loin la modification importante apportée actuellement à la saponification calcaire.

En suivant l'ordre chronologique, vient ensuite la saponification sulfurique suivie de la distillation. Ce procédé généralement en usage en Angleterre, en Allemagne, en Belgique et en Hollande, n'est employé que dans 6 usines en France, tandis qu'il en existe près de 80 qui saponifient.

C'est dans la grande usine de Londres, la société : *Price's patent candle Company*, fondée en 1843 au capital de 25 millions, que ce procédé fut mis pour la première fois en usage. Vers la même époque, deux industriels français, MM. *Masse* et *Tribouillet*, établirent une usine par ce même procédé, à Neuilly-Paris, mais leurs efforts ne furent pas couronnés de succès.

La fabrication par distillation ne fut pas plus avantageuse à leurs successeurs, MM. Jaillon, Moinier, Trinquesse, etc., fondateurs et directeurs de la Société de stéarinerie, dite de la Villette, au capital de 10 millions, tandis que ce procédé prospère à l'étranger ; nous en indiquerons les causes plus loin.

En 1854, M. *Thilgmann*, citoyen américain, puis M. *Melsens*, professeur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chimie à Bruxelles, prirent des brevets pour la décomposition des corps gras neutres en acide gras et en glycérine à l'aide de l'eau seule, d'une haute température et d'une pression correspondante.

Les appareils de M. Thilgmann, essayés en Angleterre, puis en France, à la Compagnie générale de stéarinerie de la Villette n'avaient rien de manufacturier.

L'appareil de M. Melsens, que nous décrivons plus loin, se composait d'appareils en tôle à garniture de plomb. Ce chimiste opérait la décomposition sous une pression et une température correspondant à dix ou douze atmosphères, et facilitait les réactions au moyen d'un acide faible (borique, phosphorique) ajoutés à l'eau.

Plus tard, MM. Fouché et Wright, MM. de Roubaix, Jenar de Bruxelles, Renner, et le signataire de cette étude, proposèrent et réalisèrent divers appareils destinés à accomplir les réactions découvertes par MM. Thilgmann et Melsens.

C'est à cette époque que M. de Milly reprit son premier procédé de saponification en vase clos, mais en réduisant considérablement les proportions de chaux employées.

Réunissant dans une modification heureuse les avantages de la décomposition aqueuse à ceux de la saponification calcaire, il parvint à diminuer la pression et à la remplacer par une proportion de chaux ou d'autre alcali.

Le 29 mai 1855, le savant professeur que tout le monde connaît, M. Fremy, prit un brevet pour un nouveau procédé de saponification par l'acide sulfurique étendu d'eau.

M. de Milly se fit enfin breveter le 12 mai 1866 pour un système qui a beaucoup d'analogie avec celui de M. Fremy.

Tels sont les divers modes de fabriquer l'acide stéarique, que nous allons décrire successivement. Ces procédés étaient tous représentés à l'Exposition.

Nous indiquerons ensuite les tentatives faites en dehors des moyens ci-dessus, et notamment la saponification globulaire de M. Mége-Mouriès ; mais, avant de décrire la transformation des graisses en acides gras, nous devons dire quelques mots de la fonte de suifs.

XV

La plupart des fabriques d'acide stéarique traitent des suifs fondus en dehors de leur établissement. La Plata, Montévidéo, Buénos-Ayres, la Russie, l'Australie, nous expédient des quantités considérables de suifs fondus. Le stéarinier n'a plus alors qu'à les transformer en acides gras.

Néanmoins, la fonte du suif a chez nous une importance telle, qu'il nous est impossible de passer sous silence cette opération simple, mais qui doit toujours précéder le traitement du stéarinier.

En province, dans les grandes villes, les bouchers ne livrent les suifs qu'une fois ou deux la semaine ; quoique ces membranes adipeuses soient un peu séchées à l'air, on peut les considérer comme suifs frais.

Dans les petites localités, les suifs sont suspendus pendant un espace de temps, qui dure jusqu'à un mois et plus, sur des perches où ils abandonnent une partie de leur humidité : ce sont des *suifs en rames vieux*.

A Paris, les fondeurs enlèvent chaque soir les suifs provenant des animaux abattus dans la journée. Ces membranes forment ce qu'on nomme le *suif en branches*.

La plus grande partie provient des bœufs, vaches et moutons. La proportion de suifs de veaux ou de chairs est très-faible. En moyenne, un bœuf produit 35 kilogrammes de suif, un mouton 3 à 4 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le suif en branches, la matière se trouve déposée dans une infinité de petites cellules formées de membranes musculaires très-minces, et sujettes à la putréfaction quand elles sont humides. Il faut donc se livrer tout de suite à la fonte du suif ou à sa dessiccation, pour éviter les altérations de la matière.

Plusieurs modes sont employés pour opérer cette fusion :

1° La fonte *au creton*, ainsi nommée en raison du résidu qu'elle produit ;

2° La fonte à l'acide sulfurique en vase clos ;

3° La fonte simple à l'acide.

La fonte au creton exige que le suif soit haché pour ouvrir les cellules qui le contiennent, afin de donner une issue facile à la matière grasse lorsque la chaleur l'aura liquéfiée.

Tout le monde connaît la fonte du *suif au creton* ; c'est, du reste, une opération des plus simples, pratiquée par le moindre boucher de village.

Elle s'opère à feu nu, dans une chaudière en cuivre ; on y jette simplement le suif haché. L'élévation de température dilate la matière grasse, tandis qu'elle contracte les membranes qui la renferment.

Ces deux effets opposés déterminent la rupture de ces membranes, et le suif rendu liquide par la chaleur vient surnager la masse, d'où on l'enlève soit par décantation, soit à l'aide d'une cuiller à main.

Les membranes sortant de la chaudière sont soumises toutes chaudes à l'action d'une presse à vis qui en chasse tout le suif liquide.

Ce qui reste dans la presse forme le *pain de creton* vendu pour la nourriture des animaux.

Autrefois, le boucher fondait lui-même le suif des animaux qu'il abattait et un règlement de police l'obligeait à venir vendre chaque mercredi, *sur le Carreau de la Place aux veaux*, la quantité de suif qu'il avait recueillie pendant la semaine, de là le nom de *suif de place*, sous lequel est généralement connu le suif de pain.

Dans cet état, cette industrie devait forcément rester stationnaire. Peu à peu le boucher confia la fonte de ses suifs à des fondeurs spéciaux travaillant à façon, et c'est à ces fondeurs qu'appartiennent les divers perfectionnements qui font du traitement des suifs une véritable industrie.

La fonte au creton laisse perdre des matières grasses, elle produit une odeur désagréable et un suif toujours jaunâtre ; presque tous les fondeurs travaillent au moyen des procédés indiqués par Darcet, procédés plus ou moins améliorés aujourd'hui. Il n'y a que quelques années que le suif fondu à l'acide a perdu ses dénominations de *suif au procédé*.

Ce système consiste à attaquer et à dissoudre les membranes animales au moyen d'une faible solution acide. Le suif rendu liquide par la chaleur est mis en liberté et le tissu adipeux ainsi que les divers débris azotés sont tellement désagrégés ou dissous qu'on n'obtient plus aucun creton.

La totalité de la matière grasse est alors extraite du suif en branches.

M. Foucher a construit un appareil en usage dans beaucoup de fondoirs et qui consiste à traiter le suif en vase clos sous une certaine pression. Son appareil est bien combiné et donne des résultats avantageux pour les fondeurs ; il consomme peu d'acide et peu de houille, mais le suif obtenu, dans les appareils de M. Foucher, laisse souvent suinter un peu d'oléine provenant d'un commencement de saponification, éprouvée par la matière grasse maintenue sous pression en vase clos. Cet appareil, construit en cuivre rouge épais, pour supporter une pression, est, en outre, d'un prix très-élevé. Ce léger commencement de saponification ne présente aucun intérêt pour le stéarinier, car le suif, en se saponifiant, a absorbé une proportion d'eau combinée par l'ébullition sous pression ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le stéarinier a, au contraire, tout intérêt à traiter des suifs simplement fondus à l'acide.

Chargé de la construction du grand fondoir exploité à Clichy-Paris par la société des bouchers réunis, je n'ai pu appliquer les appareils de M. Foucher, qui, en raison de la grande quantité de suif en branches, à fondre chaque jour, auraient nécessité une dépense considérable.

Voici l'appareil simple que j'ai établi au fondoir de Clichy, et ensuite dans beaucoup d'autres usines ;

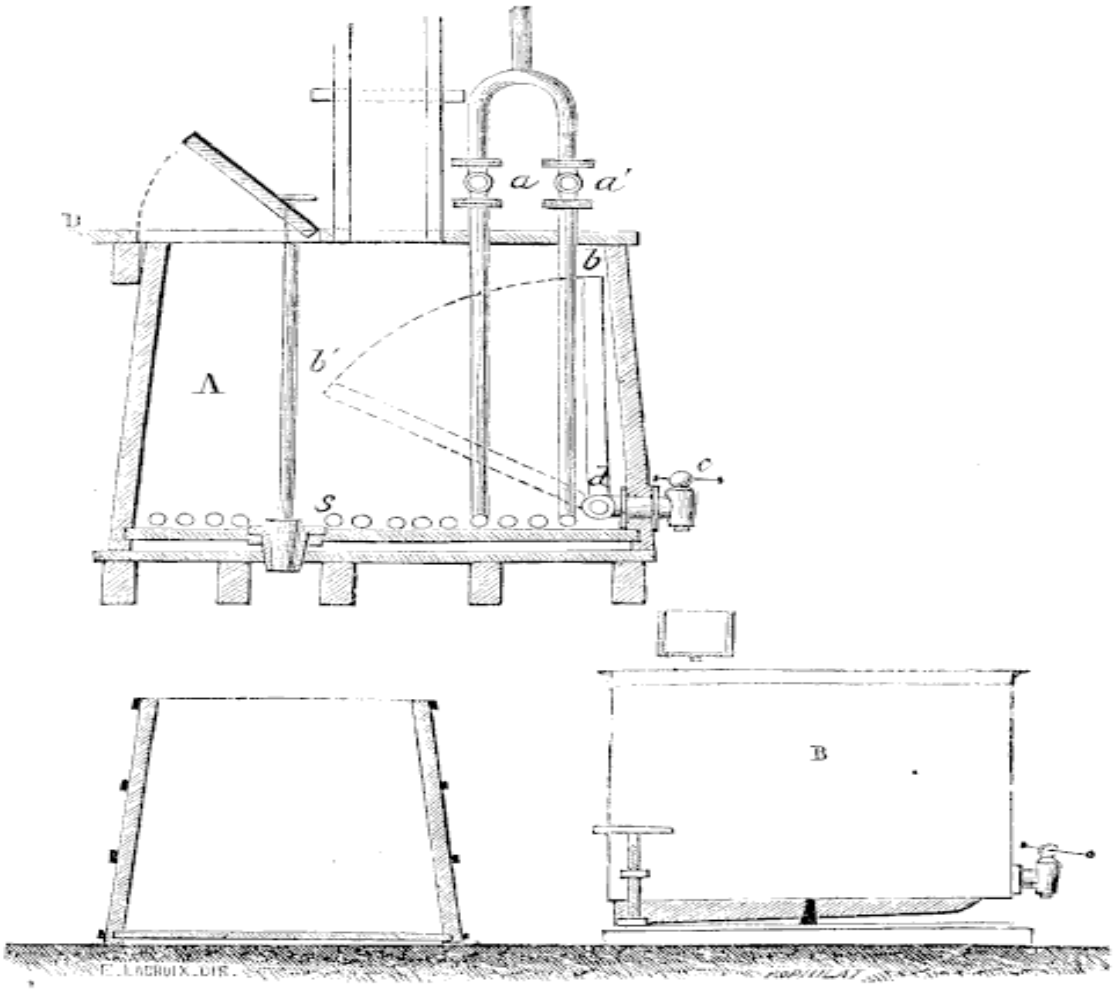


Fig. 4.

Quatre appareils peuvent fondre journellement au fondoir de Clichy 10,000 kilogrammes de suifs en branches.

La figure 4 donne une coupe de cet appareil.

Il se compose d'une grande cuve en bois A, munie d'un double serpentin en plomb SS, surmonté de deux robinets *a a*, en communication avec une chaudière à vapeur. L'un de ces serpentins est à retour d'eau, c'est-à-dire chauffé par contact, l'autre est à injection directe de vapeur.

Un couvercle mobile, et une cheminée destinée à enlever les vapeurs de l'ébullition ferment la cuve. Un robinet extérieur *c*, muni intérieurement d'une pièce articulée, dite à genouillère, *d b*, c'est-à-dire d'un tuyau mobile autour d'un axe *d* et pouvant prendre les positions *d b* et *d b'*, sert à l'évacuation du suif fondu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une soupape sert à l'enlèvement des résidus aqueux qui tombent dans une cuve inférieure.

Le suif en branches est reconnu et examiné sur un plancher D, puis introduit dans la cuve en soulevant le couvercle mobile. On envoie alors dans la masse du suif une injection de vapeur directe en ouvrant le robinet *a*.

Lorsque toutes les cellules animales qui contiennent le suif sont gonflées, on arrose la masse avec une eau acidulée contenant environ 30 p. 100 d'acide sulfurique, puis on introduit la vapeur sèche, c'est-à-dire chauffant par contact.

Au bout d'environ une heure, l'acide a détruit les membranes, et le suif pur surnage.

On le soutire par le robinet *d b* et par le robinet *c*, d'où il tombe dans le bassin B, qui a reçu des fondeurs la dénomination de *caque*.

Un conduit dirige à volonté le produit de chaque fonte dans chacun des quatre bassins. Le robinet à genouillère est disposé de façon à ce qu'on n'enlève jamais de la cuve que du suif parfaitement pur et limpide. La disposition nouvelle de cet appareil d'une grande simplicité consiste surtout dans la facilité de traiter la matière, à vapeur sèche ou à vapeur libre. Le suif, coulé chaud dans les moules, se cristalliserait en se grenant, il laisserait alors suinter un peu d'oléine, et deviendrait sans consistance. Quel que soit le moyen employé pour le fondre, il doit être refroidi à un degré voisin de son point de solidification, avant d'être mis dans ces moules coniques en bois, nommés *jalots*, ou avant d'être coulé dans les tonneaux destinés à son expédition.

Le bassin B sert de refroidissoir, et, afin qu'on puisse le vider entièrement, il est monté sur un axe qui permet de l'incliner à volonté du côté du robinet de vidange.

Le suif de Paris, provenant d'animaux de qualité moyenne, perd à la fonte de 14 à 15 p. 100. — 100 de suifs en branches, mi-frais, fournissent 85 à 86 de suif fondu.

Traité par le procédé au creton, le même suif, tout en nécessitant beaucoup de travail, ne produira pas au delà de 82 à 83 de suif. Il est vrai que, dans la fonte aux acides, le pain de creton n'existe pas, mais sa valeur ne représente pas la différence obtenue, et la fonte aux acides est préférable sous tous les rapports à la fonte au creton.

On doit à M. Évrard, de Douai, un système de fonte à l'acide des alcalis. Essayée à Paris, la fonte aux alcalis fournissait de beaux et bons produits, mais les résultats économiques laissaient à désirer.

M. Èvrard emploie 1^{k},5 de soude caustique en solution dans l'eau, pour 100 kilogrammes de suif, mais le système de vases à filtration de cet ingénieur exige une grande main-d'œuvre.

Le suif en branches est placé dans de petits cylindres en tôle possédant à vingt centimètres du bas un double fond percé d'ouvertures.

La solution alcaline descend dans le bas du cylindre, le suif restant maintenu en l'air par le double fond. Un serpentin amène de la vapeur dans la solution de soude, l'entraîne dans la masse du suif, d'où elle retombe en la traversant plusieurs fois.

L'alcali caustique ronge et dissout les membranes, et, comme dans la fonte aux acides, le suif fondu vient surnager.

Ce traitement alcalin laisse peu d'odeur à la matière grasse, mais le rendement est moindre.

Une compagnie anglaise a essayé, il y a quelques années, d'introduire en France la fonte *à la vapeur seule*, en usage en Amérique, mais les résultats économiques ont bientôt fait abandonner ses appareils.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ils consistaient en une chaudière en tôle, capable de résister à une pression de 3 à 4 kilogrammes. Les suifs, déposés sur un faux fond percé de trous, y étaient soumis pendant douze heures à l'action continue de la vapeur à la tension de 3 kilogrammes par centimètre carré.

En ouvrant le vase à la fin de l'opération, la pression combinée avec la chaleur avait entièrement dissous les membranes, et le suif surnageait la masse liquide.

Mais les résultats n'étaient pas toujours complets. Il est probable qu'en augmentant la pression, cette manière d'opérer eût donné de bons résultats.

Aucun appareil pour la fonte des suifs ne figurait à l'Exposition.

Les fondeurs de suifs ont, dans ces dernières années surtout, pris la funeste habitude de falsifier leurs produits, qui souvent sont mélangés de graisse inférieure et même de matières étrangères.

Nous avons déjà publié dans les *Annales du Génie civil* (mai 1866) les moyens de reconnaître la qualité des matières grasses, et d'en faire l'analyse quantitative. Nous avons été copié par le directeur d'une usine qui a trouvé tout simple de s'emparer du résultat de nos recherches et de s'approprier le mérite de ce travail.

Nous donnerons plus loin quelques notes sur ce sujet. Disons seulement, quant à présent, qu'il s'agit de transformer le suif neutre en acide gras, et que le suif pur doit donner un acide gras fusible de 44° à 44°,5.

XVI

Il existe en France cinquante-cinq stearineries traitant ensemble journellement environ 150,000 kilogrammes de matières grasses se décomposant ainsi :

Suifs	134,000 kil.
Huile de palme	8,000
Graisses diverses, suif d'os	8,000
	150,000 kil.

Parmi ces usines :

Trente-deux travaillent par la saponification calcaire en vase ouvert et traitent environ 65,000 kilogrammes de suifs.

Onze travaillent par saponification calcaire en vase clos, avec des quantités de chaux se rapprochant de celles utiles pour former un savon neutre (appareils Léon Droux) ; elles saponifient journellement 45,000 kilogrammes de suifs.

Trois emploient exclusivement la distillation et consomment 10,000 kilogrammes de matières grasses.

Deux emploient concurremment la saponification calcaire et la distillation. Elles distillent environ 4,000 kilogrammes par jour.

Une de ces usines travaille par la saponification à haute pression avec peu de chaux (procédé de M. de Milly) et par distillation. Nous pensons que cette importante usine consomme au moins 12,000 kilogrammes par jour de matières grasses.

Trois enfin saponifient à l'eau : une seule de ces usines est importante, la consommation des trois usines réunies ne doit pas excéder 5,000 kilogrammes par jour.

Trois usines sont fermées.

Deux traitaient les matières grasses par distillation, l'autre travaillait par saponification aqueuse.

La consommation annuelle des matières grasses employées en France à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fabrication de l'acide stéarique représenterait donc pour 300 jours de travail, 45 millions de kilogrammes d'une valeur de..... 50,000,000 fr.
et, en évaluant les frais de fabrication à 15 francs par 100 kilogrammes, environ..... 7,000,000

L'industrie stéarique représente donc en France un mouvement de..... 57,000,000

Les 15 francs de frais de fabrication représentent

Acide sulfurique (moyenne, 30 %), 125,000 kil. à 10 fr....	1,250,000 fr.
Chaux et divers.....	300,000
Main-d'œuvre, salaires, frais.....	4,450,000
Réparation de matériel, etc., etc.....	1,000,000
	7,000,000 fr.

En supposant (à cause de la distillation) que 100 kilogrammes de suif donnent 105 paquets de bougie (qualité moyenne).

45,000,000 paquets de bougies à 1 fr. (octroi et transports déduits).....	47,250,000 fr.
21,000,000 kil. d'acide oléique à 85 fr.....	17,850,000
	65,100,000 fr.

Ce qui donnerait une différence d'environ 8 millions par an, en faveur des fabricants.

La valeur de ces cinquante-cinq usines peut être évaluée à environ 25 millions de francs, le capital de roulement à 35, en total 60 millions.

Nous manquons de renseignements certains pour faire le même travail sur la stéarinerie dans les pays étrangers, mais nous pensons que le tableau suivant ne s'éloigne pas de la réalité, et qu'il pourra donner une idée de l'industrie stéarique en Europe :

			Kilogrammes de matières grasses.
France.....	55	usines saponifiant.....	45,000,000
Angleterre.....	30	— distillant.....	40,000,000
Belgique.....	5	— distillant.....	10,000,000
Hollande.....	6	— distillant.....	10,000,000
Allemagne.....	50	— distillant et saponifiant.	35,000,000
Suède, Norwége, Hanovre....	8	— distillant et saponifiant..	5,000,000
Russie.....	7	— distillant et saponifiant..	6,000,000
Espagne.....	11	— saponifiant.....	5,000,000
Italie.....	8	— saponifiant.....	3,000,000
Turquie et divers.....	2	— saponifiant.....	1,000,000
Emploi annuel de matières grasses.....			160,000,000

fournissant à la consommation environ 150 millions de paquets de bougie, le reste de l'acide stéarique étant utilisé à des usages divers. Sur ces quantités, 10 à 15 millions de paquets sont exportés dans les colonies, le reste a son emploi sur les lieux de production.

L'Exposition universelle de 1867 ne donnait pas, quant aux pays étrangers, une idée comparative de l'industrie stéarique.

Voici comment se décomposait le nombre d'exposants par nations, ainsi que la nature des produits exposés.

Généralement la qualité des produits ne laissait rien à désirer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Environ un quart des stéariniers avaient exposé des savons d'acide oléique.

France	30	produits	de saponification et distillation.
Angleterre	4	—	de distillation.
Belgique	2	—	—
Pays-Bas	2	—	—
Prusse	2	—	de distillation et mélange de paraffine.
Bade	1	—	de saponification.
Autriche	12	—	de saponification. Paraffine.
Principautés danubiennes	1	—	de saponification.
Espagne	5	—	—
Portugal	1	—	—
Danemark	2	—	de distillation.
Suède	2	—	—
Russie	4	—	de saponification.
Italie	3	—	de saponification et mélange de cire.
États-Unis	1	—	de paraffine et saponification.
Brésil	4	—	d'acide stéarique mélangé de carnauba.
Colonies anglaises	1	—	— —
Total des exposants	77		

Quatre exposants seulement avaient envoyé, dans la classe 51, des presses hydrauliques, des machines à mouler, un appareil à distiller, un appareil à saponifier à haute pression et un appareil pour l'essai des matières grasses.

Ces quatre exposants appartenaient à la France.

Nous avons dit plus haut (§ 15) que les suifs à l'état neutre constituaient des stéarates, des margarates et des oléates de glycérine, et que la fabrication de l'acide stéarique se réduisait à la destruction de cette combinaison pour obtenir les acides gras libres et les séparer ensuite à l'aide d'une pression énergique.

Six opérations sont nécessaires pour la transformation des suifs ou graisses en acide gras, une fois la fonte de suif accomplie, lorsqu'il s'agit de travailler par le procédé de saponification ordinaire :

1° La formation du savon de chaux ;
2° Son extraction de la cuve et son concassage ;
3° La décomposition du savon de chaux par l'acide sulfurique ;
4° Le lavage à l'eau acidulée ;
5° Le lavage à l'eau pure ;
6° La cristallisation.

Viennent ensuite les opérations de la séparation des acides solides de ceux qui sont liquides à l'aide des presses hydrauliques ; nous n'étudierons dans cette note que la fabrication des acides gras.

La première opération, qui est la formation du savon calcaire, généralement appelée *saponification*, consiste à combiner le suif avec la chaux hydratée et à éliminer ainsi la glycérine, base organique soluble qui se dissout dans un excès d'eau.

Voici ce qui se passe dans cette opération, la plus importante de toutes, et celle dont dépendra tout le succès des suivantes :

Les corps gras neutres à l'état de suifs purs, récemment fondus et non rances, sont, ainsi que nous l'avons vu plus haut, des mélanges de stéarine (stéarate de glycérine) fusible à 61° [1] ; margarine (margarate de glycérine) fusible à 47°, et d'oléine (oléate de glycérine) fusible à 0°.

[1] Dans les conditions ordinaires, la stéarine fond à + 62° ; mais ce point de fusion peut varier d'une façon remarquable.

1° La stéarine, chauffée à 2° seulement au-dessus de son point de fusion, se concrète par le refroidissement à la température de 61°.

2° Portée à la température de 66°, puis abandonnée au refroidissement, la stéarine se so

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La stéarine représente 3 équivalents d'acide gras unis à un équivalent de glycérine : de là le nom de tristéarine qu'on lui donne.

En la décomposant par 3 équivalents de chaux, on aura l'équation suivante :

Tristéarine $C^{114}\ H^{110}\ O^{12} = 11,125$ seront décomposés par 3 équivalents de chaux 3 (C^a O) (350×3), soit 1050, ce qui représente 9,43 de chaux ; mais, industriellement, on est obligé d'en employer environ 14, car le suif composé de trois acides gras donne un chiffre pondéral peu différent, 9,65.

Après la décomposition du savon calcaire on aura mis en liberté les 3 équivalents d'acide gras, plus la glycérine hydratée, comme l'indique l'équation ci-après :

$$C^{114}H^{110}O^{12} + 6HO = 3(C^{36}H^{36}O^4) + C^6H^6O^6.$$

Si à cette équation on substitue des nombres, l'on voit que 11,125 de stéarine donnent 10,650 d'acide stéarique ou 97,50 p. 100, ce qui ne s'éloigne guère des résultats industriels.

Les trois corps gras neutres, stéarine, margarine, oléine, constituant le suif donnent les trois acides fusibles à des températures différentes que l'on représente ainsi :

Acide stéarique.	$C^{36}H^{33}O^4$	fusible à	+ 70°
Acide margarique.	$C^{34}H^{34}O^4$	— à	+ 60°
Acide oléique.	$C^{36}H^{34}O^4$	— à	— 12°

Le poids de l'acide stéarique libre après son élimination du savon calcaire, ajouté à celui de la glycérine, surpasse d'une façon notable le poids de la matière grasse soumise à l'action de l'alcali hydraté. Cette augmentation de poids se manifeste dans la décomposition de toutes les matières grasses neutres.

100 de stéarine donnent 102,6 d'un mélange contenant 94,6 d'acide stéarique et de glycérine. L'augmentation ne peut être due qu'à la fixation des éléments de l'eau.

Dans l'industrie, pour mieux assurer les réactions, on emploie généralement 14 centièmes de chaux par 100 kilogrammes de suif à acidifier ; mais, comme nous le verrons, avec des appareils convenablement disposés la saponification calcaire est complète avec 11 centièmes de chaux, l'excès de 3 centièmes étant encore plus que suffisant.

Dans la généralité des usines, cette opération a lieu dans de grandes cuves

lidifie déjà à 51° et peut alors fondre à 53°. Si, après avoir laissé prendre en masse une stéarine fusible à 53°, on cherche à la liquéfier par l'action de la chaleur, il faut employer de nouveau une température de 63°.

3° La stéarine qui a été chauffée à 2° au-dessus de son point de fusion, et qui s'est solidifiée à 61°, n'entre plus en fusion qu'à 66°,5.

On peut donc admettre que la stéarine se présente sous trois modifications physiques distinctes : une modification α, fusible à + 51° ; une modification β, qui fond à + 53° ; et une modification γ, qui se liquéfie à + 66°,5.

Du reste, cette division semble justifiée par les différences qui existent entre les densités des trois modifications :

TEMPÉRATURE au moment DE L'EXPÉRIENCE.	DENSITÉS DES TROIS MODIFICATIONS.		
	α	β	γ
+ 15°	0,986	1,010	1,017

(M. DUFFY. — PELOUZE ET FRÉMY.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en bois dont le fond est garni de serpentins en fer, percés d'une infinité de petites ouvertures qui lancent la vapeur dans la masse du suif.

Dans d'autres, on fait usage de bassins en maçonnerie, enfin quelques industriels doublent ces cuves ou bassins en plomb, parce qu'ils opèrent la saponification et la décomposition par l'acide sulfurique dans la même cuve, sans transvaser le savon calcaire. Mais ce mode d'opérer est d'autant plus défectueux, qu'il ne permet ni le concassage du savon calcaire, ni sa décomposition rapide. En second lieu, malgré tous les soins pris, il reste toujours sur les parois de la cuve des matières acides qui nuisent à la saponification suivante ou qui nécessitent un excès de chaux.

Dans le commencement de cette fabrication on avait cru utile de placer, dans la cuve à saponifier, un agitateur mis en mouvemeut par la machine ou à l'aide de chevaux.

Ce brassage mécanique était possible lorsqu'on opérait en petit, c'est-à-dire dans des cuves contenant 500 à 600 kilogrammes de matière, mais lorsqu'il a fallu saponifier jusqu'à 5,000 kilog. comme le font quelques usines, ce brassage est devenu impossible en raison de la force énorme qu'il faudrait employer pour agiter le savon calcaire au moment de l'empâtage.

Comme l'indique le dessin ci-contre (*fig.* 5), la cuve à saponifier se composait d'une cuve en bois de sapin, munie dans le fond d'un serpentin en fer creux, percé de petites ouvertures à travers lesquelles la vapeur était lancée dans la masse à saponifier.

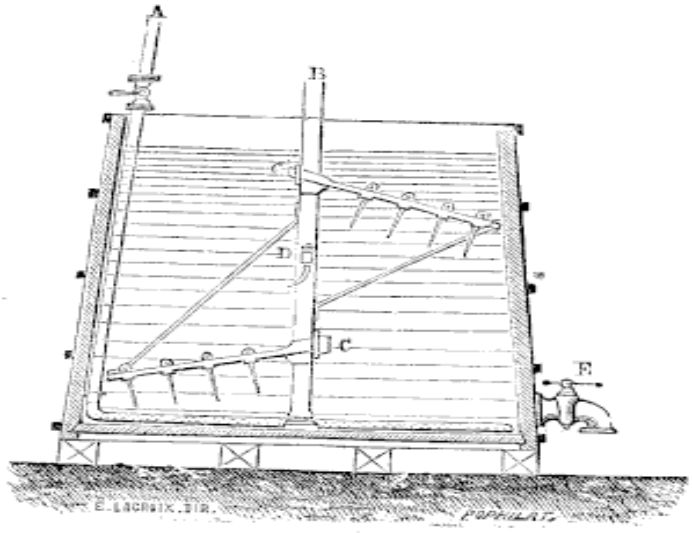


Fig. 5.

Un arbre vertical BDC, muni de deux ou trois bras, placés transversalement, mélangeait et agitait la masse quand on imprimait un mouvement de rotation à l'arbre vertical. Un robinet E placé sur le côté était destiné à l'évacuation des eaux glycérineuses.

Dans les usines travaillant par la saponification en vase libre, voici généralement comment on opère maintenant.

Supposons une usine de moyenne grandeur, devant produire 1000 kilogrammes d'acide stéarique par jour.

Pour saponifier 2000 kilogrammes de suif, on commence par introduire dans la cuve environ 1000 kilos d'eau, puis le suif en pains. L'on ouvre le robinet qui introduit la vapeur, et, dès que tout le suif est fondu, on projette sur la masse un lait de chaux composé d'environ 280 kilogrammes de chaux vive, éteinte dans 2000 kilogrammes d'eau. Le savon se forme immédiatement, la masse prend un aspect uniforme gris blanchâtre. Au bout de quelques heures les parties se séparent, et après environ 6 à 8 heures d'ébullition tout le savon calcaire (stéarate, margarate, oléate de chaux) se trouve concrété en masse ayant l'aspect de cailloux roulés qui tombent au fond de la cuve.

L'eau qui surnage contient la glycérine en dissolution. Dans presque toutes les usines ces eaux sont soutirées et jetées; dans quelques-unes on en extrait la glycérine par un traitement spécial.

Ces morceaux de savon calcaire acquièrent une grande résistance par le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

refroidissement. Ils sont *extraits* de la cuve à saponifier, puis *concassés* à l'aide d'un moulin à noix, ou à la main. C'est la seconde opération.

La troisième opération, ou *décomposition* du savon de chaux par l'acide sulfurique s'opère dans une cuve analogue à la précédente, mais doublée en plomb, en raison de l'emploi de l'acide sulfurique.

Les stéarates, oléates, margarates de chaux, sont mis en contact avec de l'acide sulfurique étendu d'eau, et la réaction est favorisée par la chaleur produite au moyen d'une injection de vapeur. L'acide sulfurique, plus énergique que les acides gras, s'empare de la chaux pour former du sulfate de chaux, et ceux-ci sont mis en liberté.

Les acides stéarique, margarique et oléique surnagent tandis que le sulfate de chaux se précipite au fond de la cuve.

Les deux opérations ci-dessus, dans lesquelles on a substitué une base minérale à une base organique, puis en second lieu un acide minéral puissant à un acide organique faible peuvent se représenter ainsi :

1° *Saponification.*

Stéarate, margarate, oléate de glycérine.....
—
Hydrate de chaux..... } transformés en { Stéarate, margarate, oléate de chaux.
—
Glycérine en dissolution dans l'eau.

2° *Décomposition.*

Stéarate, margarate, oléate de chaux.
—
Acide sulfurique..... } transformés en { Acides stéarique, margarique et oléique.
—
Sulfate de chaux.

La quantité d'acide sulfurique nécessaire à la saturation de la chaux pour opérer la décomposition du savon calcaire, est en proportion de la quantité de chaux employée dans la saponification.

Si l'acide sulfurique employé était à un seul équivalent d'eau, en supposant un emploi de 14 centièmes de chaux, il en faudrait 24 kil., 5; car, en effet, 350 (équivalent de la chaux) : 612,5 (équivalent de l'acide) : : 14 : 24,5. Mais l'expérience a démontré que l'on devait en employer un excès et porter la dose au double du poids de la chaux, soit à environ 28 kilos.

L'acide sulfurique est généralement employé tel qu'il sort des chambres de plomb, à 53°, et il en faut alors employer environ 33 kilos.

Il serait très-avantageux pour le fabricant d'acide stéarique de produire lui-même l'acide sulfurique qu'il emploie : car, quand on calcule que l'acide à 53° peut être livré de 8 fr., 50 à 9fr. les 100 kilos rendu à domicile, on se demande quelle est la valeur réelle d'un produit qui doit être augmenté de frais de transport, d'emballage, etc., évalués au moins à 4 fr. par 100 kilogrammes.

Quand l'opération de la décomposition du savon calcaire est terminée, on enlève les acides gras qui surnagent et qui doivent être limpides, et on les soumet dans une cuve voisine, également doublée en plomb, à un *lavage à l'eau acidulée* à environ 12°. Ce lavage a pour but d'enlever les dernières traces de chaux qui ont pu échapper à la décomposition et de compléter l'acidification des acides gras, sans laquelle la cristallisation ne s'opère jamais bien : c'est la 4e opération.

Le sulfate de chaux qui s'est précipité au fond de la cuve de décomposition

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est enlevé, puis lavé et battu dans d'autres petites cuves, afin d'en extraire les dernières parties grasses qui auraient pu être entraînées avec lui.

La cinquième opération se fait dans une cuve en bois, munie d'un serpentin de vapeur libre. Les acides gras enlevés de la cuve à lavage-acide subissent un *lavage à l'eau pure*, deux fois renouvelée, afin d'enlever aux acides gras les dernières traces d'acide sulfurique.

Il ne reste plus qu'à opérer la sixième opération ou *cristallisation* des acides gras dans des moules de tôle étamée ayant les dimensions de la pression hydraulique, dans laquelle ils recevront ensuite une pression de 150 à 200,000 kilos.

Tel est le résumé sommaire des opérations effectuées dans la généralité des usines françaises pour arriver à la production des acides gras.

Les acides gras sont enfin soumis à l'action de puissantes presses hydrauliques, une première fois à froid, et dans une presse verticale ; une seconde fois, dans une presse horizontale, contenant des plaques creuses dans lesquelles circule un courant de vapeur.

XVII

MM. de Milly et Motard ont, les premiers, mis en usage la saponification par la chaux.

Ils opéraient d'abord en vase clos, et sous une pression de trois à quatre atmosphères. Leur appareil construit en tôle, et chauffé à feu nu présentait de nombreux inconvénients; l'extraction du savon calcaire s'opérait par un trou d'homme analogue à celui de nos générateurs à vapeur, et se trouvait d'autant plus difficile à effectuer, que cet appareil était embarrassé intérieurement d'un agitateur. Le foyer se trouvant nécessairement en dessous de la chaudière, le trou d'homme devait être à la partie supérieure.

Dans leur brevet, qui porte la date du 13 décembre 1833, MM. *de Milly* et *Motard* ne s'expliquent pas sur la proportion de chaux à employer.

Leur spécification ne contient aucun dessin; aussi avons-nous cru intéressant de donner ici les termes mêmes de ce brevet d'autant plus célèbre, qu'il est le point de départ manufacturier d'une industrie aujourd'hui si importante à divers titres.

« Les soussignés, L.-A de Milly, chevalier de la Légion d'honneur, et L.-C.-A Mottard, ont l'honneur d'exposer ce qui suit :

« Attendu que jusqu'à présent la saponification des graisses par la chaux en vase clos n'a été conseillée par aucun auteur et ne se trouve décrite dans aucun ouvrage ;

« Attendu que seuls ils opèrent cette saponification dont ils se considèrent inventeurs, les soussignés vous prient, Monsieur le Ministre, de leur accorder un brevet d'invention de dix années pour la saponification à la chaux des graisses en vase clos et à une température dépassant celle de l'eau bouillante.

« Leurs moyens d'opérer sont les suivants :

« La chaudière dont ils se servent est d'une forme cylindrique se terminant à sa partie supérieure par un trou d'homme, lequel est hermétiquement fermé par un couvercle boulonné. Ce couvercle porte à son centre une stuffing-box par laquelle passe une tige tournée (agitateur terminé à sa partie inférieure par une croix en bois). Ce couvercle est encore percé d'un trou destiné à recevoir un tube plongeant de six pouces dans la chaudière ; on place dans ce tube un thermomètre. La chaudière est chauffée par un fourneau ordinaire.

« On commence par verser dans ladite chaudière une quantité double d'eau de celle du suif à saponifier, dans cette eau on met le suif; quand ce dernier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est fondu, on répand sur la masse liquide un lait de chaux en quantité suffisante pour la saponification des graisses.

« On ferme alors la chaudière, et, au moyen d'un mouvement de bas en haut imprimé à l'agitateur, on brasse, à des intervalles rapprochés, toute la masse fluide ; l'opération se continue de la même manière, jusqu'à ce que le thermomètre marque cent trente-six degrés centigrades. Après un certain temps toute la masse devenant consistante, l'agitation n'est plus possible, l'opération est alors abandonnée à elle-même et se termine pendant l'abaissement de la température. Quand le thermomètre ne marque plus que cent degrés centigrades, on ouvre la chaudière et on la vide par le trou d'homme, dès que la masse est suffisamment refroidie.

« Ledit brevet est demandé positivement pour la saponification des graisses en vases clos par la chaux ; cependant, le traitement des graisses par tout autre alcali, ou même tout autre agent chimique que la chaux, fait de la même manière en vase clos, doit être considéré comme s'y rattachant en tout ce qui n'aurait pas été suffisamment décrit.

« L'appareil dont il est ici question et le mode de s'en servir devant être considérés surtout comme la propriété des demandeurs.

« Ils ont l'honneur d'être avec une haute considération, Monsieur le Ministre, vos très-humbles et très-obéissants serviteurs,

ADOLPHE DE MILLY
L. MOTARD.

Paris, 10 décembre 1833.

L'existence même de ce brevet engendra la saponification en vase libre. Mais M. de Milly, resté seul à la tête de l'usine qui a justement acquis une si grande renommée sous le nom de *Bougie de l'Étoile*, abandonna bientôt lui-même, en partie, ce mode de fabrication. En effet, les concurrences qui s'élevèrent de toutes parts essayèrent et parvinrent à saponifier en vase ouvert pour ne pas tomber dans les termes du brevet de MM. de Milly et Motard.

En 1839, la Société d'encouragement décerna à M. Duriez une médaille de bronze, pour, dit le rapport, *un perfectionnement remarquable, la substitution d'un vase ouvert aux chaudières autoclaves à pression de cinq atmosphères, employées pour la saponification par la chaux.*

Par une singulière anomalie qui se représente souvent dans l'industrie, la Société d'encouragement intervenait avec toute son autorité pour recommander la propagation d'une prétendue amélioration, qui n'était qu'un pas en arrière, l'augmentation de la quantité de chaux employée devenant nécessaire.

A l'exposition de l'industrie de 1844, le rapport officiel constate que M. de Milly, opérant mieux la division de la chaux hydratée, a réduit les proportions de cet agent et économisé une quantité proportionnelle d'acide sulfurique.

De 1839 à 1848, l'industrie stéarique ne progresse pas ; la saponification calcaire à vase ouvert avec 14 à 15 centièmes de chaux est le seul procédé mis en exploitation, sauf chez M. de Milly, qui déjà saponifie à plus faibles doses.

En 1848, un fabricant, établi en province, M. Delapchier, de Besançon, modifiant l'appareil de MM. de Milly et Motard, établit dans son usine un appareil pour saponifier à l'aide de la chaux et en vase clos. Au lieu d'employer le chauffage à feu nu, comme de M. Milly, en 1834, il emploie le chauffage par injection de vapeur et obtient d'assez bons résultats.

Mais par la nature même de sa construction, l'appareil à saponifier de M. Delapchier ne pouvait supporter qu'une très-faible pression, il ne travaillait pour ainsi dire qu'à l'air libre et ne recueillait ses vapeurs qu'afin d'éviter les récla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mations des voisins, son usine étant dans l'intérieur de la ville. La figure 10 le représente en coupe.

M. Delapchier déclare du reste lui-même, dans son brevet, ne travailler qu'à

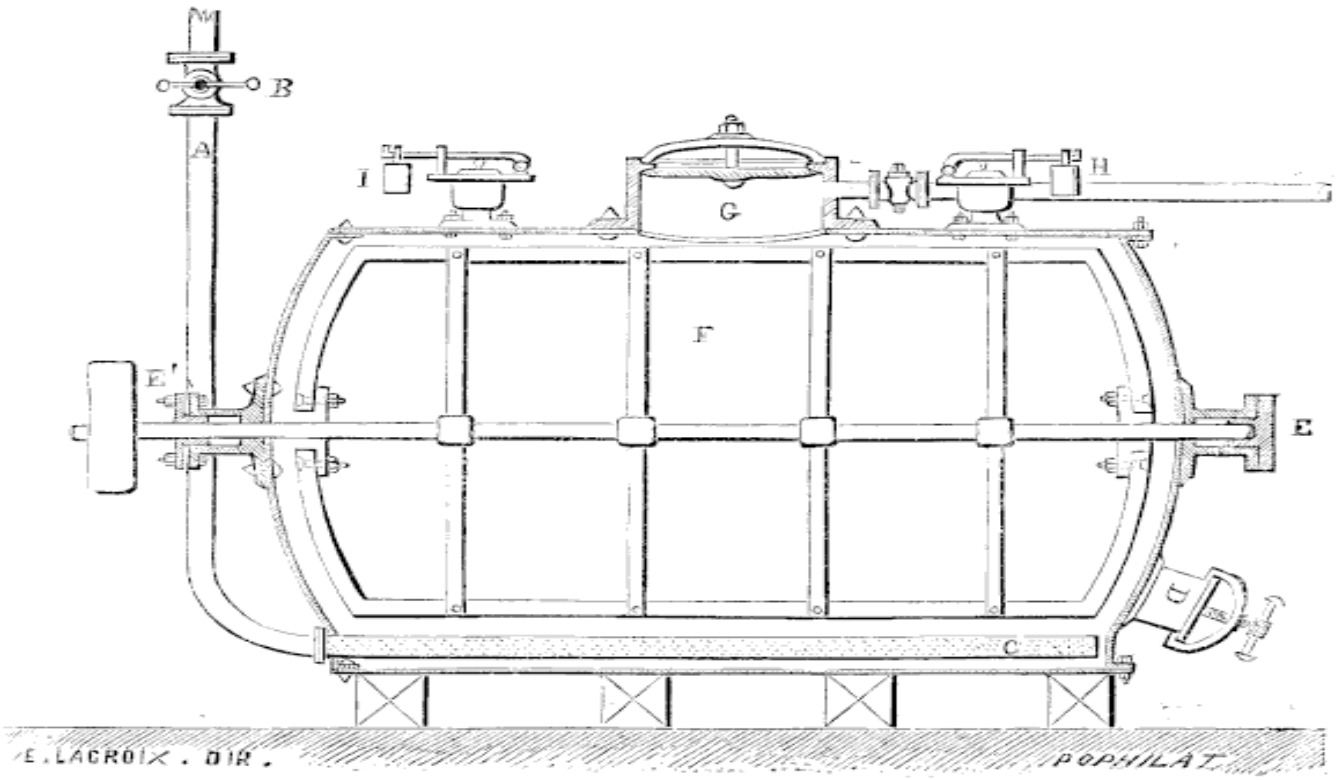


Fig. 6.

une pression de 1 $\frac{1}{4}$ à 1 $\frac{1}{2}$ atmosphère, correspondant à une température de 106 à 112 degrés.

L'appareil que nous avons vu longtemps travailler à Besançon, et qui a été remplacé par un appareil vertical construit sur nos dessins et d'après notre système, se composait d'un cylindre horizontal F muni de trou d'homme G, soupapes IH, etc.

A l'intérieur un grand agitateur, EE' mis en mouvement par la machine de l'usine, brassait le savon calcaire, dont l'extraction avait lieu par une porte inférieure D.

Le chauffage avait lieu par un tube intérieur longitudinal C, percé d'ouvertures pour lancer la vapeur dans l'appareil.

L'emploi même de ce système de chauffage exclut toute idée de pression, car avec une pression même légère, ce tube se fût engorgé à chaque opération, par le refoulement du savon dans son intérieur.

Malgré ses imperfections, l'appareil à saponifier de M. Delapchier mérite d'être signalé, car il fixe la date du chauffage à la vapeur en vase clos d'un savon insoluble, opération réellement impossible à effectuer dans de bonnes conditions à feu nu, comme l'avaient fait MM. de Milly et Motard, en 1833.

Quant à l'agitateur de M. Delapchier, il était plus nuisible qu'utile, et son fonctionnement était impossible du moment où le savon commençait à se former.

Les cuves en bois généralement employées pour la saponification se trouvent forcément dans de très-mauvaises conditions pour l'utilisation du calorique. Pour arriver en vase ouvert à une saponification complète, il est utile de brasser la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

masse du savon ; cette opération a lieu au moyen de gros bâtons en bois que des ouvriers agitent dans la cuve.

Ce brassage est pénible et exige que les cuves ne dépassent pas une hauteur de 1m,50. La couche de savon calcaire se trouve donc forcément avoir une grande surface et une faible épaisseur que la vapeur d'eau traverse alors avec une grande vitesse.

Vers 1850, M. Conwers a installé à Mâcon, puis à Lyon, dans l'usine exploitée aujourd'hui par la Société Weiss, une cuve en tôle, dans laquelle il opérait toujours à l'air libre, mais avec une meilleure utilisation du calorique, et obtenait, par contre, un savon calcaire mieux cuit.

La cuve à saponifier de M. Conwers, attribuée à tort à M. Besson, se compose d'une chaudière cylindrique en tôle mince, *complétement ouverte à la partie supérieure*, ou, ce qui revient au même, surmontée d'un couvercle mobile en tôle ou en bois, mais *simplement posé sur la cuve* et sans aucune attache.

Sur le côté latéral se trouve une grande porte A pour l'extraction du savon calcaire. L'arrivée de la vapeur a lieu par un serpentin B placé dans le fond plat de la cuve. Cette cuve possède environ 4 mètres de haut et 1m,40 à 1m,50 de diamètre.

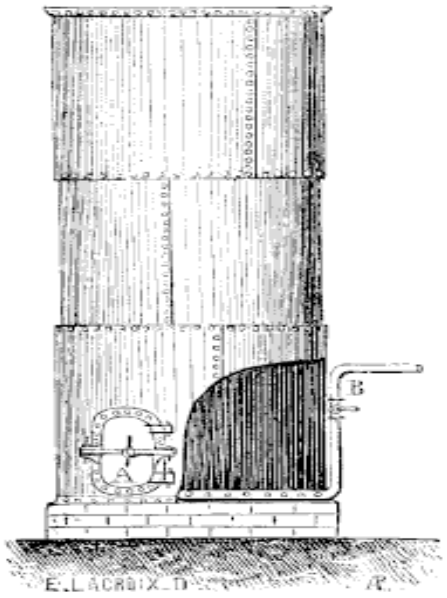


Fig. 7.

Dans ces conditions, la vapeur, en s'échappant des orifices du serpentin, doit soulever et traverser une couche de savon calcaire d'environ 3 mètres de haut, elle est infiniment mieux utilisée que dans la cuve en bois et reste plus longtemps en contact avec le savon calcaire qui se trouve alors mieux cuit.

L'épaisseur de la tôle, les faibles armatures de la grande porte du bas, le chauffage par serpentin, excluent nécessairement toute idée de pression intérieure, aussi cette cuve à saponifier, quoique présentant déjà un notable perfectionnement sur la cuve ouverte est-elle bien loin de présenter les avantages et l'économie du vase clos.

La cuve de M. Conwers n'a jamais produit, comme la cuve ouverte, que du savon calcaire en boules difficiles à décomposer sans avoir subi l'action d'un moulin concasseur; il suffit d'ouvrir la grande porte du bas pour laisser tomber le savon, tandis que, cuit sous pression et refroidi, le savon calcaire se fût attaché aux parois de la cuve.

La saponification en cuve ouverte, pour bien s'opérer, exige en moyenne une proportion de 14 à 15 p. 100 de chaux. M. Delapchier, avec la très-faible pression supportée par son appareil, a toujours saponifié à 14 p. 100 ; mais, la cuve de M. Conwers exige la même proportion de 14 p. 100 de chaux.

Nous avons bien vu dans les notes remises par les exposants aux membres du Jury international, une maison de Paris déclarer qu'elle ne saponifie qu'à vase ouvert et que *par suite de nombreuses modifications apportées, tant dans le matériel que dans la manipulation, l'usine de C..... ne saponifie le suif qu'avec 10 p. 100 de chaux* ; mais c'est là un résultat qu'aucun fabricant sérieux n'admettra pas plus que cette opinion tout au moins hasardée, puisqu'elle n'est appuyée d'aucun renseignement ni d'aucune preuve que : *par la réduction du poids de la chaux employée, l'acide stéarique ressort beaucoup plus dur.*

Théoriquement, pour saponifier 100 de suif, nous avons vu plus haut qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

était nécessaire d'employer 9,65 de chaux pure. Mais non-seulement la chaux brute est toujours mélangée de substances inertes, terres, pierres, résidus insolubles, et indépendamment la division dans une grande cuve ne peut jamais être assez bien faite pour que chaque partie de matière grasse se trouve précisément en contact immédiat avec la proportion de chaux utile à sa décomposition.

La saponification calcaire qui donne incontestablement les meilleurs produits, opérée d'abord dans l'autoclave de MM. de Milly et Motard, puis en raison des difficultés pratiques laissée de côté pour la saponification en vase libre, a été sur le point d'être abandonnée en raison des dépenses d'acide sulfurique, de houille et de chaux qu'elle nécessitait en opérant à vase ouvert.

Mais il n'était pas douteux que, si l'on parvenait à opérer la saponification calcaire avec des proportions de chaux se rapprochant de celles indiquées par la théorie, et à produire un savon facilement décomposable, on trouverait dans l'emploi de ce système, dont les résultats sont toujours identiques, une fabrication simple, facile à opérer et ayant l'immense avantage de produire des acides stéariques durs, blancs, de première qualité en même temps que des acides oléiques peu attaqués et éminemment propres à la fabrication des savons.

Malgré la difficulté que l'on éprouve toujours à parler de ses travaux, l'appareil à saponifier qui porte le nom du signataire de cet article ne peut être passé sous silence, car il constitue un système de fabrication en usage aujourd'hui dans les fabriques les plus importantes [1]; il procure aux industriels une économie de 2 à 3 francs par 100 kilogrammes de matière traitée et fournit un savon *calcaire excellent* (déclaration du jury de l'Exposition).

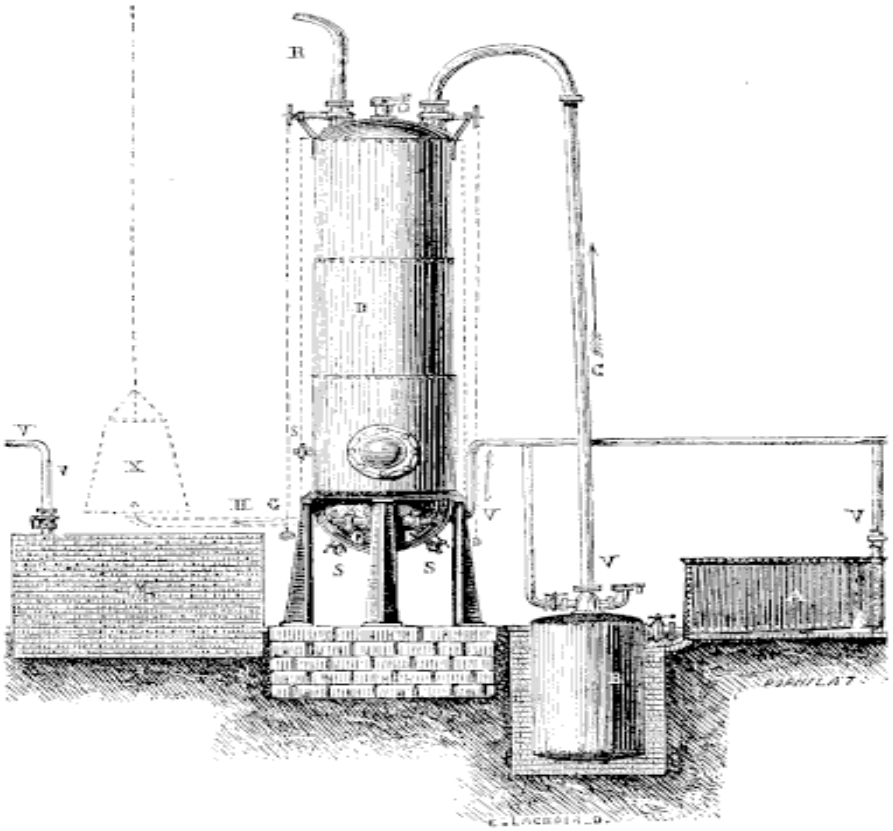


Fig. 8.

La saponification s'y opère en vase clos sous une pression de 3 à 4 atmosphères, c'est-à-dire sous une pression qui n'excède jamais celle des chaudières à vapeur de l'usine, et avec une proportion de 11 p. 100 de chaux au lieu de 14, tout en donnant des produits de la plus belle qualité, aussi bien en acide stéarique qu'en acide oléique et avec le maximum de rendement que donne la saponification par la chaux.

Il se compose d'un grand cylindre en tôle D muni de soupapes, et d'appareils

[1] Parmi celles-ci, nous citerons les usines ci-après : Paris, Montpellier, Lyon, Besançon, Dôle, Reims, Angers, Bordeaux, Montauban, San Sebastian, Madrid, Neuss, etc., etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de sûreté. Il est construit pour résister à une pression intérieure de quatre atmosphères et est muni de deux trous d'hommes, l'un sur le haut à fermeture intérieure, l'autre latéral à fermeture extérieure, pour pouvoir pénétrer facilement dans l'appareil en cas de besoin.

Il est assemblé sur quatre pieds en fonte qui le maintiennent à environ un mètre du sol et permettent l'accès facile des injecteurs de vapeur FF et des appareils de sortie du savon calcaire GH.

La préparation du lait de chaux, ainsi que la fusion du suif, s'opèrent dans un double bassin A jaugé et placé près de l'appareil. Le chargement a lieu par l'écoulement de deux liquides dans un monte-jus B (appareil à pression directe de vapeur) qui au moyen du tuyau C remonte les matières dans le haut de l'appareil à saponifier. Dans ce parcours les matières se mélangent déjà et leur arrivée en un jet brusque dans l'appareil est favorable à leur combinaison.

Des injecteurs F lancent de la vapeur libre au fond de l'appareil d'où elle se répand dans la masse du savon qu'elle entretient dans un état continuel de brassage tout en en opérant la cuisson.

Ces injecteurs sont construits de façon à ce qu'ils ne puissent s'engorger. Une disposition spéciale de tringles retenues dans l'injecteur même permet de les vérifier à chaque instant et de déboucher le robinet d'entrée, sans interrompre en aucune façon la circulation de la vapeur ni la marche de l'appareil.

La séparation de l'eau glycérineuse du savon calcaire s'opère facilement, et la pression intérieure, en augmentant la température de la masse, permet d'opérer la cuisson à + 130 ou + 140° (3 atmosphères = + 134) 4 atmosphères = + 144), condition éminemment favorable à la saponification complète des acides gras.

Lorsque le savon est bien séparé de son eau, c'est-à-dire après environ une heure d'ébullition, la vapeur qui a servi à sa cuisson n'est pas perdue comme dans les autres appareils, ou dans la cuve ouverte. Elle est reprise en R par un robinet placé au sommet du cylindre et peut être employée au chauffage des opérations suivantes, ou à celui des plaques des presses hydrauliques.

La vapeur ne fait plus alors que traverser la masse du savon calcaire, en ne lui cédant que la légère portion de calorique nécessaire à l'entretien de la température.

On comprend facilement l'économie que ce système apporte dans la consommation du combustible en supprimant l'énorme quantité de vapeur échappée dans l'atmosphère, pendant six à sept heures, durée d'une saponification ordinaire.

L'élévation de la température, la pression intérieure à laquelle est soumis le savon, et le brassage continuel engendré par le courant de vapeur, et dont le but est de multiplier à l'infini les points de contact, permettent de réduire la proportion de chaux à 10 ou à 11 p. 100 du poids du suif, économie de peu d'importance sur la chaux elle-même, mais qui permet de réduire dans la même proportion la quantité d'acide sulfurique employée à la décomposition du savon de chaux.

Saponifié et maintenu sous pression, le savon calcaire conserve dans l'intérieur de l'appareil un état malléable qui lui permet d'en être chassé par la pression, à travers une ouverture d'un diamètre relativement très-petit.

La saponification terminée, ce dont on s'assure facilement au moyen de robinets d'essai placés le long de l'appareil, on procède au soutirage de l'eau glycérineuse, par les robinets S, puis à l'évacuation du savon calcaire.

L'appareil de sortie se compose d'un robinet à manette G, auquel se raccorde un tuyau mobile H, qui amène le savon calcaire pâteux et bouillant sous un cône X suspendu au-dessus du bassin ou de la cuve de décomposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Refoulé par la pression dans le tuyau H et projeté dans le cône X, le savon se divise à l'infini et tombe dans le bain acide de la décomposition, sous forme d'éponge, état physique très-favorable pour son absorption de l'eau acidulée et sa décomposition immédiate.

Arrivé à l'air libre, il se passe dans le savon calcaire un effet analogue à celui que les gelées exercent sur les terres : les rubans de savon possédant intérieurement une pression de trois atmosphères, se dilatent à l'air libre, éclatent et tombent en une véritable poussière si la cuve est très-éloignée, ou en masses spongieuses divisées à l'infini, si le bain acide est proche de l'orifice de sortie, comme l'indique la figure ci-dessus. Pour éviter la déperdition de la chaleur, l'ensemble de l'appareil est revêtu d'une chemise en maçonnerie non figurée au dessin.

La décomposition du savon calcaire étant opérée, pour ainsi dire, instantanément, les acides gras restent moins longtemps en contact avec de l'acide sulfurique à un degré élevé, et comme conséquence, l'acide oléique moins attaqué, conserve un aspect et des qualités supérieures.

En outre, la réduction dans la proportion de chaux employée diminue proportionnellement la production des sulfates de chaux, leur lavage si encombrant, et surtout les chances inévitables de pertes de matières dans ces lavages.

Pour compléter ce qui a rapport à la saponification calcaire, nous donnons dans la planche 220 l'ensemble des appareils et bassins utiles pour transformer les matières grasses en acides gras.

La disposition indiquée dans cette planche est celle qui exige le moins de main-d'œuvre dans le travail.

En A se trouve la cuve pour la fonte du suif en branches, en B le bassin pour le résidu de la fonte. — Quand on ne traite pas les suifs en branches, ces deux appareils et le plancher qui les supportent sont supprimés.

Le dépotage des tonneaux de suif s'opère alors dans le bassin C, tandis que la préparation du lait de chaux a lieu en C', bassin qui n'est visible qu'en plan. Ces deux bassins sont jaugés de façon à contenir les quantités exactes de matières nécessaires à une saponification. Leur fond est en pente vers le robinet afin qu'ils se vident entièrement, et ils sont munis tous deux de serpentins de vapeur.

Le suif fondu et le lait de chaux s'écoulent dans le monte-jus *D* qui les remonte dans l'appareil à saponifier *E* dont nous avons donné la description plus haut.

Le savon calcaire formé s'échappe sous pression dans la cuve *F* surmontant le bassin de décomposition.

L'acide gras décomposé s'écoule naturellement du bassin de décomposition *G* dans celui du lavage acide *H*, et le sulfate de chaux sort du bassin G par la simple ouverture de la porte *g*, d'où il s'échappe dans les bassins de lavage. Un monte-jus *I* remonte l'acide gras au sortir du lavage acide *H* dans la cuve en bois *J* destinée au lavage à l'eau. Le même monte-jus *I* peut servir à remonter les résidus des presses à chaud dans le bassin K destiné à les entreposer, d'où ils s'écoulent naturellement dans le lavage acide.

La cuve de lavage à l'eau ainsi que celle destinée à recevoir les résidus ou retour des presses étant sur un plancher, la première est disposée pour laisser couler l'acide gras lavé dans les cristallisoirs ou moulots *M* destinés aux presses hydrauliques.

Cette disposition générale, d'une grande simplicité, supprime toute main-d'œuvre, puisque toutes les opérations sont conduites au moyen de la simple manœuvre de robinets. En second lieu, la vapeur qui a servi à la saponification est utilisée de nouveau, pour les opérations suivantes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XVIII

Vers 1854, plusieurs chimistes, M. Berthelot, Tilghman, Melsens, et ensuite M. de Milly, indiquèrent et réalisèrent, en grand, d'autres procédés qui devaient apporter une grande économie dans la fabrication des acides gras.

Tous, M. de Milly excepté, après plusieurs tentatives industrielles, se trouvèrent dans la nécessité d'abandonner leurs espérances.

Richard Tilghman, aux États-Unis (9 janvier 1854), M. *Berthelot* en France (3 avril 1854), et *Melsens* en Belgique (7 décembre 1854) démontrèrent tous trois, concurremment, que l'eau seule, à une température de + 180° à + 200°, décomposait les graisses neutres et les transformait en acide gras et en glycérine.

Cette décomposition présente, au point de vue chimique, une réaction assez simple. Selon MM. Pelouze et Fremy, en considérant un des trois corps gras neutres, la stéarine, par exemple, sa saponification ou décomposition par la seule action de l'eau devrait être exprimée par l'équation suivante dans laquelle ST représente l'équivalent d'acide stéarique anhydre (C^{68} H^{66} O^{5}), et GL l'équivalent de glycérine également anhydre (C^{3} H^{3} O^{2}),

$$\underbrace{ST,GL}_{\text{Stéarine.}} + HO = \underbrace{ST,2HO}_{\text{Acide stéarique hydraté.}} + \underbrace{GL,HO}_{\text{Glycérine.}}$$

M. Berthelot laissa sa découverte dans le domaine scientifique, M. Tilghman et Melsens seuls construisirent des appareils que nous allons décrire.

Le premier appareil de M. R. Tilghman expérimenté en Angleterre et en France, à la Société générale de stéarinerie de la Villette, n'avait rien de manufacturier.

Malgré cela, nous en donnons une description détaillée, car nous croyons savoir que cet appareil n'a jamais été publié dans aucun recueil.

Il se compose de quatre parties distinctes (fig. 9, page suivante) :

1° Le mélangeur A ;

2° L'injecteur B ;

3° L'appareil Perkins C ;

4° Le refrigérant D.

Les matières grasses étaient d'abord émulsionnées avec de l'eau dans le mélangeur A formé d'un cylindre métallique ouvert, dans lequel un piston percé d'un grand nombre d'ouvertures mélangeait et émulsionnait la matière grasse avec l'eau.

On réglait l'arrivée des matières grasses et de l'eau au moyen de robinets placés à l'entrée du cylindre.

Un mouvement mécanique d'environ 120 coups à la minute formait une véritable émulsion, condition indispensable à la décomposition future.

L'injecteur B, formé d'une pompe alimentaire ordinaire, prenait cette émulsion dans le mélangeur, et chaque coup de piston la refoulait dans les tubes de l'appareil Perkins.

Chacun de nos lecteurs connaît les surchauffeurs Perkins. Ce sont de forts tuyaux en fer C, enroulés en spirale et soumis dans un fourneau à réverbère dont le foyer est en F à une chaleur considérable.

M. Tilghman, dans son brevet, dit :

« Je mêle le corps gras, sur lequel j'opère, avec un tiers ou la moitié de son volume d'eau, et le mélange peut être placé dans un vase convenable quelconque dans lequel on puisse le soumettre à l'action de la chaleur, à la tempéra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ture à peu près la même que celle égale au *plomb fondant*, jusqu'à ce que l'opération soit complète, et le vase doit être fermé de telle façon que la pression requise peut être appliquée pour prévenir la conversion de l'eau en vapeur.

« Ce procédé peut être exécuté plus rapidement et aussi d'une manière continue en forçant le mélange des corps gras et d'eau à passer par un tube chauffé à la température déjà mentionnée. »

Après avoir décrit le mélangeur et la pompe, M. Tilghman continue dans son brevet en disant :

« A la sortie des tubes de chauffe le mélange qui a été converti en acides gras libres et en une solution de glycérine passe à travers un autre serpentin en fer, plongé dans l'eau, le mélange se refroidit ainsi depuis la haute température à laquelle il se trouvait porté jusqu'à 212° (100° centigrades), après quoi il s'échappe de la soupape dans le vase destiné à le recevoir.

Les tubes de fer que j'ai employés et trouvés convenables pour cet effet ont environ un pouce de diamètre extérieur ($0^m,025$), et environ un demi-pouce ($0^m,012$) de diamètre intérieur, étant ceux qui sont mis en usage ordinairement dans l'appareil de Perkins.

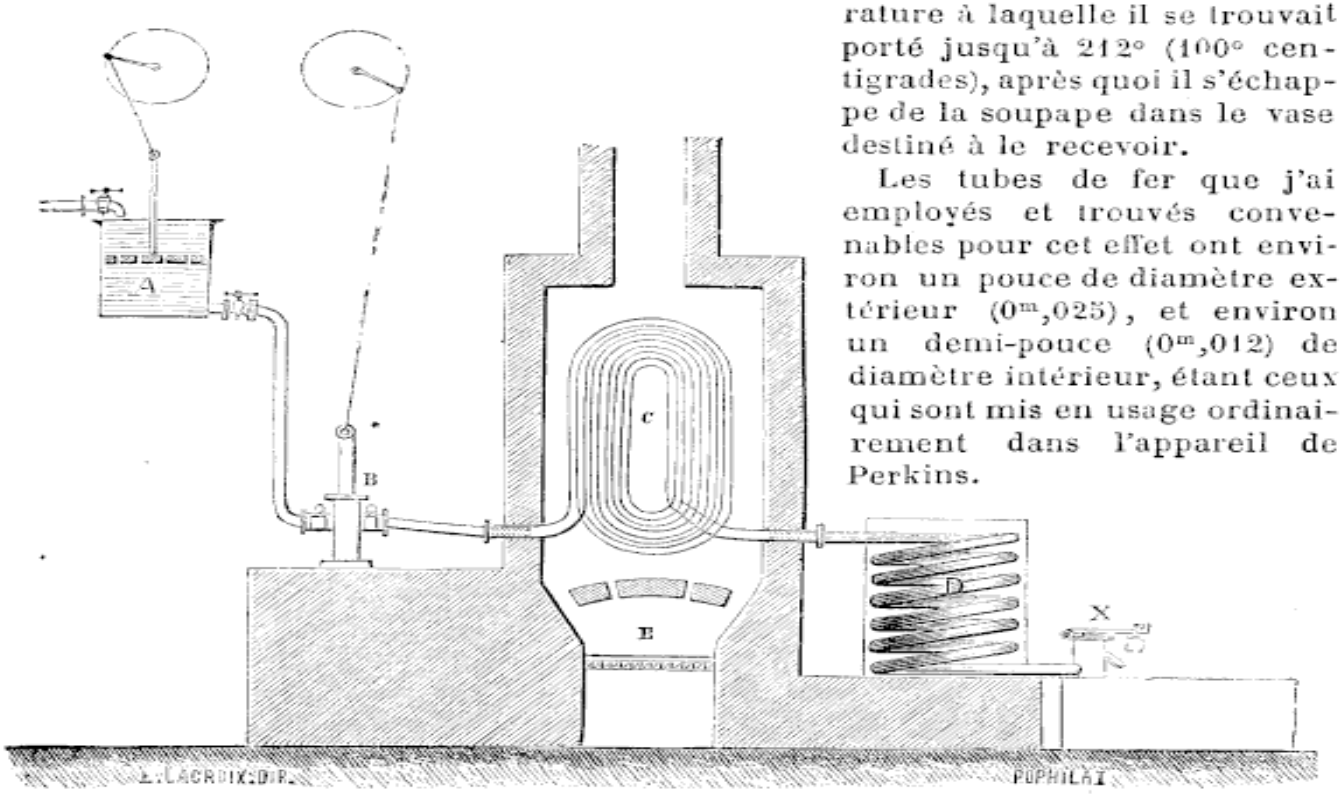


Fig. 9.

« Le tube est contourné un grand nombre de fois, en avant et en arrière, de façon à réaliser une longueur considérable de tubes, dans un espace restreint.

« Les différents tours de tubes sont éloignés d'environ un quart de pouce. L'espace est rempli solidement avec du fer battu, qui couvre aussi les tours extérieurs ou rangées de tubes, jusqu'à une épaisseur de trois quarts de pouce.

« Cette chemise de métal assure dans les différentes parties du faisceau une température uniforme, ajoute à sa force et protége contre l'action du feu.

« La soupape de décharge est chargée de telle façon que, lorsque les tubes sont à la température voulue pour opérer, et que la pompe n'est pas en action, rien ne s'échappe; mais lorsque la pompe chasse de nouveau le mélange dans la partie des tubes chauffés, la soupape de décharge est forcée de s'ouvrir, et permet à une égale quantité de mélange qui a subi l'opération de sortir des tubes.

« On ne doit permettre aucune accumulation d'eau ou de vapeur dans les tubes, ils doivent toujours être remplis du mélange. A cet effet, chaque fois qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peut être nécessaire, la vitesse de la pompe doit être accélérée de telle façon que le courant à travers les tubes soit rendu assez rapide pour enlever avec lui tout l'air qu'il renfermait.

« Quoique la décomposition des graisses neutres par l'eau s'effectue avec beaucoup de rapidité, à la température convenable, je préfère cependant ne faire travailler la pompe de cette façon, qu'en proportion de la longueur de tubes de chauffe afin que le mélange, en passant à travers eux, y soit maintenu à la température désirée pendant environ dix minutes, avant de passer dans le refrigérant. »

L'inventeur donne ensuite quelques explications inutiles ici sur la forme de son appareil qu'il déclare prudent d'essayer à la force de dix mille livres par pouce carré, pour travailler à deux mille, ce qui correspondrait environ à 153 atmosphères. Dans son brevet belge, M. Tilghman demande que l'essai se fasse à la pression de *sept cents atmosphères !*

Les citations que nous venons de faire du brevet Tilghman dispensent de tout autre commentaire. Au sortir de l'appareil à tubes, la matière se refroidit dans le serpentin refroidisseur D pour venir enfin sortir en X.

M. Tilghman nous paraît surtout s'être préoccupé d'obtenir une chaleur considérable, *égale à celle du plomb fondant* (334°).

Il est cependant inutile de dépasser 15 atmosphères, soit environ 198°, pour parvenir à la décomposition complète des matières grasses neutres sous l'influence de l'eau.

Son appareil construit avec des tubes en fer ne pouvait résister au delà de quelques mois, car cette décomposition des acides gras possède des réactions faiblement acides à la température ordinaire, mais qui attaquent rapidement, corrodent même totalement le fer à une température même bien inférieure à celle du plomb fondu.

Cette température élevée avait encore le grave inconvénient comme, du reste, tous les appareils chauffés directement à feu nu, de détruire une partie de la matière grasse en la charbonnant, et malgré tous les soins pris à la pression et au lavage, l'acide stéarique obtenu dans l'appareil de Richard Tilghman était toujours noirâtre ou gris terreux.

C'est ici que nous devons placer l'appareil de M. Melsens, en le considérant comme le premier appareil manufacturier. Il a travaillé pendant quelques années dans l'usine de M. de Roubaix et Oedenkoven d'Anvers, et j'ai pu l'expérimenter industriellement à Paris. Son emploi a dû être abandonné, en raison de la construction vicieuse d'un cylindre en fer, qui, doublé en plomb, devait résister aux pressions considérables de 10 à 12 atmosphères.

Voici la description de l'appareil de M. Melsens (fig. 10, page suivante) :

AA est une chaudière construite en tôle de fer et doublée intérieurement d'une chemise en plomb. La partie antérieure est fermée par un plateau mobile à l'aide de boulons, afin de pouvoir pénétrer dans l'appareil pour y placer cette garniture en plomb. Cette chaudière est munie de trous d'homme OO', de soupapes S, d'un manomètre M, de robinets de jauge RR, d'un thermomètre T, en un mot, de tous les appareils de sûreté ordinaires.

Elle est placée sur un fourneau disposé de cette façon que la chaleur circule simplement sous la chaudière, afin de produire un chauffage régulier dans toutes les parties de l'appareil, ce qui n'aurait pas lieu si le foyer était placé directement sous la chaudière.

Une seconde chaudière B, également doublée en plomb, et dont la capacité est environ le quart ou le tiers de la première, est placée un peu au-dessus, mais en dehors du fourneau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elle est munie également de tous les appareils de sûreté, et d'une large ouverture non représentée au dessin, par laquelle M. Melsens voulait introduire le suif en branches qu'il se proposait de traiter directement dans son appareil.

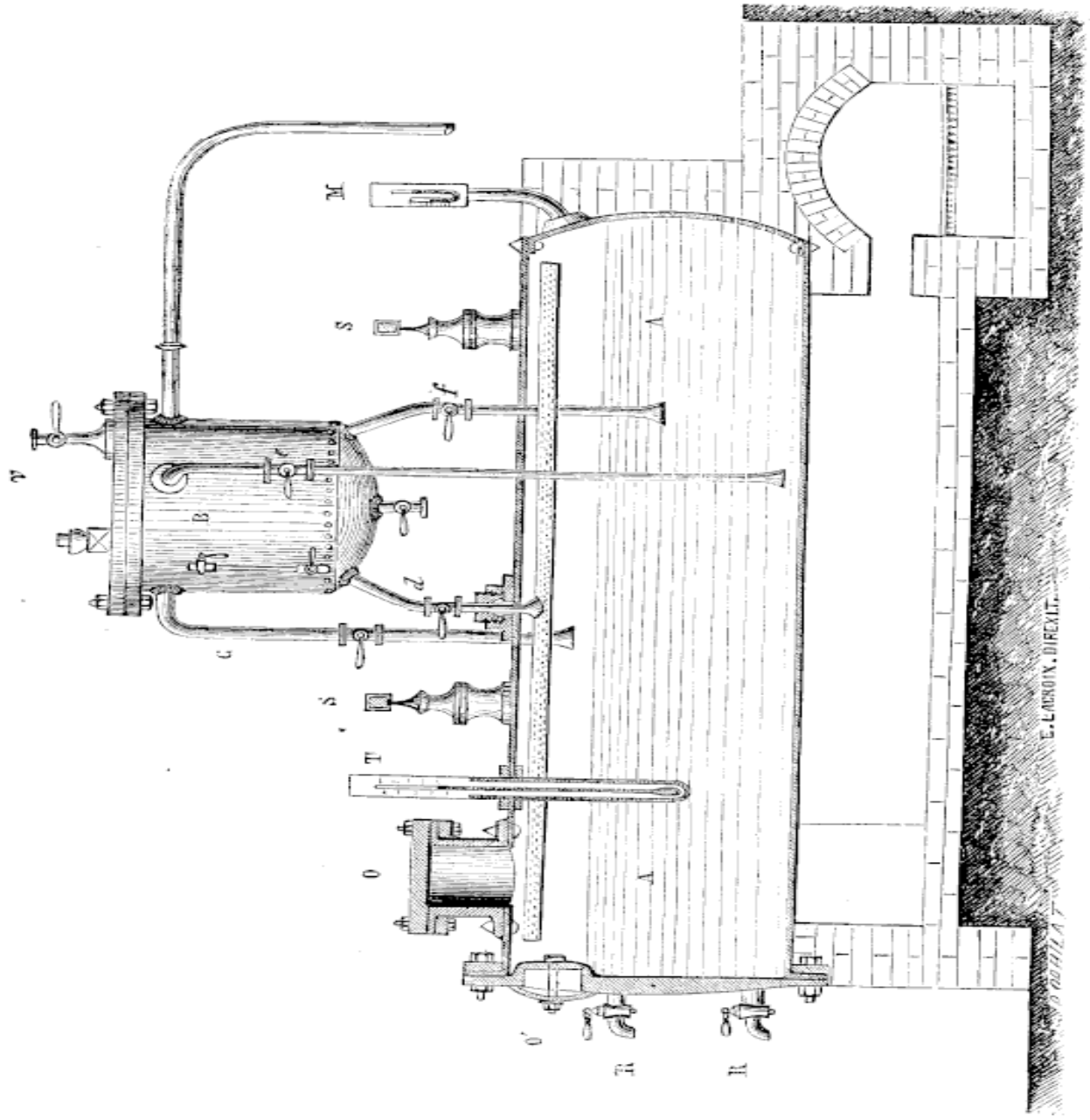


Fig. 10.

Ces deux chaudières sont reliées entre elles par quatre tubes *cdef*, munis de robinets, dont la manœuvre à la main constitue tout le mécanisme de fonctionnement.

Le tube *d*, en pénétrant dans la chaudière inférieure, s'assemble sur un tuyau distributeur, percé de trous et régnant dans toute la longueur de la grande chaudière.

Après avoir introduit l'eau et le suif dans la chaudière inférieure A, et porté le mélange à une pression de 12 atmosphères, on ouvre le robinet *d* qui donne accès à la vapeur dans la chaudière B, d'où on la laisse échapper dans l'atmosphère en ouvrant le robinet *v*. Alors, de tous les points du fond de la chaudière A

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

part un courant tumultueux de vapeur chargé d'eau qui traverse la couche de suif et produit un premier contact entre les deux liquides.

Au bout de quelques minutes de travail, on ferme ces deux robinets *d v*, la chaudière B se refroidit, il se forme un vide partiel dans l'intérieur de cette chaudière, on ouvre alors les deux robinets *c f*, ce qui fait monter par aspiration dans la chaudière B un mélange de matières grasses et d'eau.

En fermant ensuite *c f* et en ouvrant *c d*, la vapeur introduite par le tube *c* agit sur l'eau et la matière grasse de façon à les refouler dans la chaudière principale où les deux liquides tombent en pluie, à la surface du mélange liquide que l'eau traverse pour regagner le fond de la chaudière AA.

Ce double courant en sens inverse met ainsi l'eau en contact multiplié et intime avec la matière grasse à acidifier ; on le reproduit autant de fois qu'il est nécessaire pour opérer l'acidification de la matière grasse et la séparation de la glycérine qui se dissout dans l'eau à mesure qu'elle est isolée.

Les acides gras obtenus dans les appareils de M. Melsens étaient irréprochables sous tous les rapports, surtout lorsqu'on avait mélangé à l'eau une faible quantité d'acide sulfurique ou d'acide borique.

Nul doute que si l'appareil de M. Melsens, au lieu d'être construit en tôle et doublé de plomb, eût été construit en cuivre, assez résistant pour pouvoir y soutenir la pression jusqu'à 14 à 15 atmosphères, on ne fût arrivé à parfaitement décomposer industriellement à l'aide de l'eau pure.

Mais il est un fait incontestable : c'est à M. Melsens que nous devons l'appareil à circulation. Dans son système, que j'ai expérimenté industriellement, la garniture en plomb était impossible à conserver intacte, et jamais je ne suis parvenu à travailler sans fuites. La trop grande surface donnée aux joints est encore, selon moi, une des causes qui ont empêché de fonctionner cet appareil infiniment mieux combiné et présentant moins de dangers que ceux de MM. Fouché et Wright dont nous allons parler.

MM. Wright et Fouché, dont le brevet porte la date de 1857, se sont surtout préoccupés de construire un appareil à circulation automatique d'une résistance suffisante pour supporter convenablement des pressions de 15 à 16 atmosphères.

Sous ce dernier rapport, l'appareil qui porte leur nom ne laisse rien à désirer. Ils ont pris soin de ne se servir que de cylindres en cuivre d'un faible diamètre, de construire les rivures doubles et de donner aux métaux employés une grande épaisseur, mais la circulation n'y est pas toujours complète, et ne s'y opère pas régulièrement : les opérations bonnes aujourd'hui y sont mauvaises demain.

Il se compose (fig. 11, page suivante) de deux cylindres AB en cuivre rouge, ayant environ 50 centimètres de diamètre, 4 mètres de hauteur pour l'un, et 2 mètres pour l'autre.

Le cylindre inférieur B est placé dans un fourneau, l'autre A, de capacité double, surmonte ce fourneau.

Il est placé au-dessus de l'autre sans être dans le même axe. Ils sont en communication par deux gros tubes qui les relient de façon à pouvoir déterminer un courant. La partie supérieure du cylindre B communique avec la partie supérieure du cylindre A, et la partie inférieure du cylindre B avec la partie inférieure du cylindre A au moyen d'un plongeur descendant au fond de ce cylindre noyé dans le fourneau.

Celui du bas A contient de l'eau pure et celui du haut B, la matière grasse à acidifier. Des robinets N X X′ servent au chargement et à l'évacuation des matières. Ces appareils sont munis de soupapes, manomètres, etc. Chauffant alors le cylindre inférieur à l'aide d'un foyer ordinaire, la température s'élève à 195 ou 200 degrés (15 atmosphères à 15 1/4). Un courant s'établit entre les deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindres, l'eau du cylindre inférieur traversant la matière grasse, pour venir retomber dans le cylindre inférieur d'où elle se vaporise de nouveau. L'opération dure 8 à 10 heures ; au bout de ce temps l'hydratation des acides gras et de la glycérine est à peu près complète et il ne reste plus qu'à enlever la matière qui est soumise dans une cuve voisine à un léger lavage à l'eau acidulée, pour obtenir des acides gras.

J'ai eu occasion de faire fonctionner ces appareils ; avec de l'eau pure, la saponification était imparfaite ; un centième de soude, d'oxyde de fer, ou même quelques débris de ferraille suffisaient, au contraire, pour obtenir des acides gras parfaitement cristallisés.

Malgré les avantages que théoriquement on était en droit d'en attendre, ces appareils furent abandonnés en France, mais ils fonctionnent en Allemagne et en Amérique. Des incendies, causés par imprudence, des produits irréguliers, dus à une circulation incomplète ou à un défaut de pression, en ont fait abandonner également l'emploi.

Cependant ces appareils travaillent encore aujourd'hui en Autriche, où ils paraissent donner de bons résultats. On y emploie, il est vrai, un peu d'alcali.

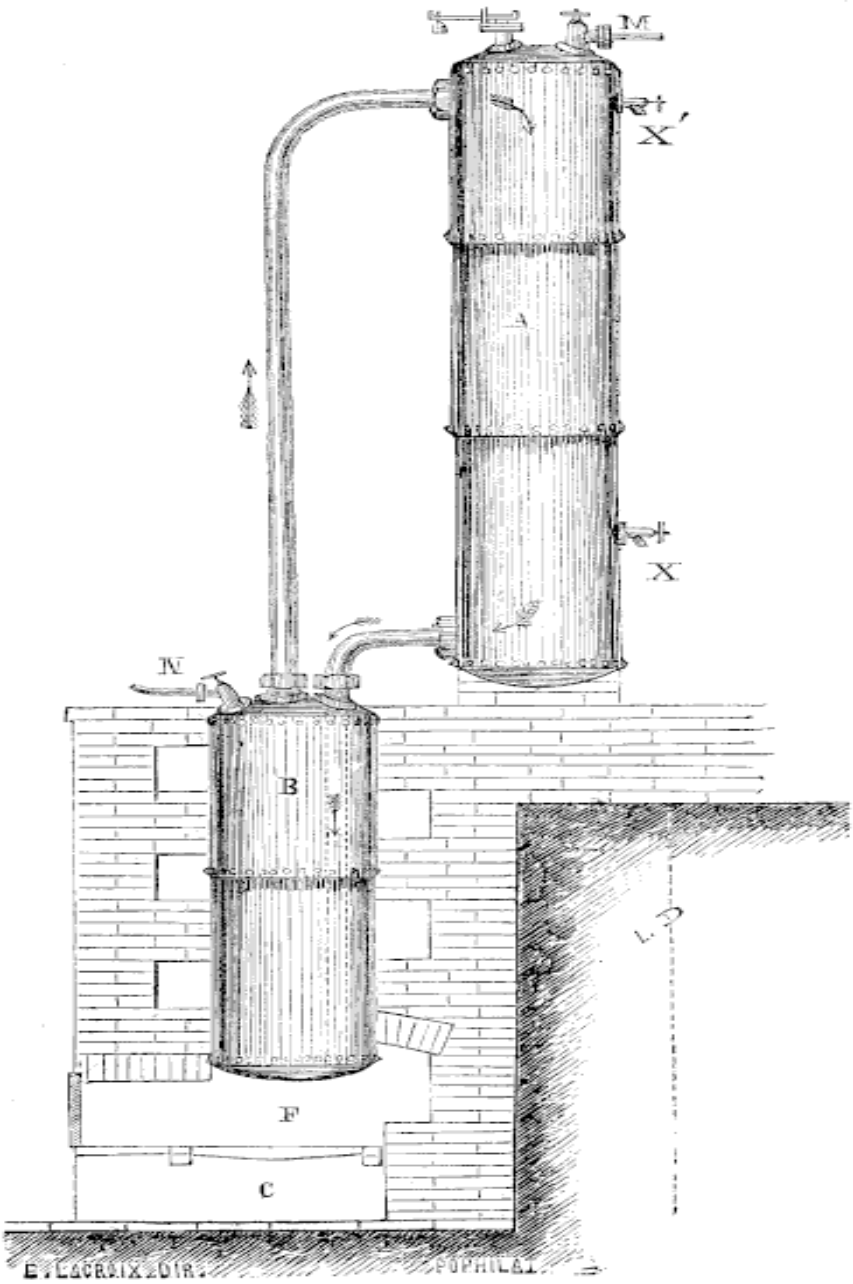


Fig. 11.

Les travaux de M. Tilghman et ceux de M. Melsens, les appareils de M. Wright et Fouché appelèrent à cette époque l'attention de tous les fabricants, et des essais nombreux, mais presque tous infructueux, furent tentés de toutes parts.

M. R. Tilghman, persuadé de l'impossibilité manufacturière de son appareil à tubes Perkins, prend en janvier 1856 un nouveau brevet au nom de M. Benjamin Tilghman, pour un appareil à peu près analogue a celui de MM. Fouché et Wright, appareil qui fonctionne encore aux États-Unis, où la décomposition par l'eau est presque exclusivement employée dans la fabrication des acides gras.

En France, la stéarinerie, dont les bénéfices étaient considérables à cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

époque repoussa toute innovation, pour s'en tenir à la saponification calcaire en vase ouvert. A dater de cette époque, et si nous en exceptons les travaux scientifiques des chimistes, MM. Fremy, Pelouze, Bouis, dont nous parlerons plus loin, ainsi que ceux de M. de Milly, qui n'a jamais cessé d'apporter de grands perfectionnements à l'industrie, dont il peut, à juste titre, être considéré comme le créateur, c'est à l'étranger qu'il nous faut aller chercher le progrès.

La distillation y prend un accroissement considérable, et la saponification aqueuse y est étudiée de toutes parts.

C'est toujours la circulation automatique que recherchent les industriels ou les constructeurs. L'appareil de M. de Roubaix Jenar, de Bruxelles, représenté fig. 12, a l'avantage de la plus grande simplicité, mais nous croyons savoir que la circulation ne s'y opère pas d'une façon continue, et que, comme dans celui de MM. Wright et Fouché, les opérations y sont également irrégulières. Théoriquement, la circulation devrait s'y produire, mais en présence de la haute température des liquides et des vapeurs, elle y est souvent nulle ou incomplète.

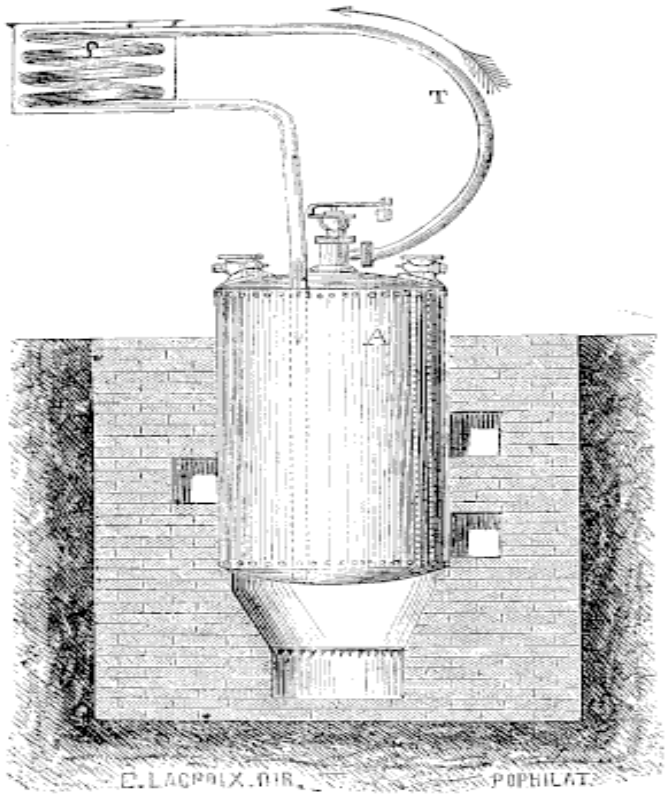


Fig. 12.

L'appareil breveté au nom de M. de Roubaix Jenar, à la date du 7 juillet 1866, se compose d'une chaudière en cuivre A placée verticalement dans un fourneau.

Cette chaudière est munie des appareils de sûreté ordinaires, et l'épaisseur des métaux employés à sa construction est telle qu'elle peut supporter une pression intérieure de 15 atmosphères.

Un tuyau T part de la partie supérieure et vient se contourner en spirales S dans un vase ouvert, contenant de l'eau destinée à le refroidir, l'extrémité de ce véritable serpentin refrigérant communique au moyen d'un plongeur avec le fond de la chaudière A.

M. de Roubaix commence par introduire l'eau et la matière grasse dans son appareil.

Par sa densité, l'eau gagne le fond, et la graisse surnage.

Lorsque l'ébullition se produit, l'eau se transforme en vapeur, traverse la couche de matière grasse pour venir gagner le haut de l'appareil. Cette vapeur s'engage dans le tuyau T, se condense dans le serpentin S, d'où elle retombe dans le fond de l'appareil pour se vaporiser de nouveau et recommencer le même travail.

Comme dans les autres appareils, la glycérine est entraînée en dissolution dans l'eau, et on extrait les acides gras et la solution glycérineuse par un plongeur disposé dans l'appareil.

Avant M. de Roubaix un appareil analogue avait été breveté au nom de M. Renner, et à la date du 7 septembre 1865, mais, par son peu de longueur, le tuyau indiqué dans le brevet de ce constructeur ne devait pas suffire à la condensation, et la circulation ne devait pas alors avoir lieu ; l'idée du réfrigérant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

interposé par M. de Roubaix doit contribuer puissamment à la formation du courant. Nous ne pensons pas que l'appareil de M. Renner ait jamais été construit. — Peu après, et à la date du 19 décembre 1865, le même M. Renner prend un nouveau brevet pour un appareil à décomposer les matières grasses sous pression. Les produits fabriqués dans cet autre appareil figuraient à l'Exposition sous le nom de M. Perrée, fabricant à Elbeuf.

Nous désirions donner dans notre étude les détails les plus complets sur tous les appareils de saponification, et nous nous étions adressé à M. Renner pour avoir quelques renseignements sur son système d'appareils. Non-seulement M. Renner se refuse à les donner, mais il s'oppose à *toute publication quelconque sur sa manière de travailler*.

Disons donc seulement que l'appareil de M. Renner fonctionne toujours à feu nu, qu'il se compose d'un seul cylindre horizontal, dans lequel on chauffe eau et matière grasse sans aucune trace de circulation automatique ou forcée (1) : il n'est que la copie de ce qui a déjà était fait.

Le rapport du jury dit : *L'exposition de M. Perrée est entièrement composée de produits fabriqués au moyen du procédé en question; mais, au moment de son installation, on distillait la matière saponifiée.* »

Nous avons vu les produits de M. Perrée. Ils portaient des traces évidentes de distillation, mais nous devons reconnaître que l'acide stéarique avait un bon aspect.

Quant à l'acide oléique, trouble et coloré, il avait les inconvénients de son origine. Les savons exposés par M. Perrée étaient cependant de beaux et bons produits. Étaient-ils obtenus avec l'acide oléique exposé ?

Si nous indiquons encore d'autres systèmes d'appareils pour la saponification aqueuse, c'est que nous voulons élucider la question et démontrer l'importance que l'industrie attache aujourd'hui à produire à bon marché.

C'est qu'en effet, le jour où la saponification aqueuse sera entrée définitivement en usage, les frais de transformation des matières grasses en acides gras seront réduits à une très-faible dépense ; mais, pour parvenir à ce résultat, l'industrie réclame l'emploi d'appareils fournissant des réactions complètes, présentant peu ou pas de dangers d'incendie, d'un prix d'achat et d'un entretien relativement peu élevés, et comme condition essentielle laissant sortir à la pression de l'acide oléique non attaqué par la haute température à laquelle la matière aura été soumise dans son traitement.

C'est pourquoi nous pensons que tout appareil fonctionnant à feu nu doit être rejeté, car aux nombreux et incessants dangers d'incendie que présente un engin rempli de matières inflammables soumises à des pressions considérables, et en contact avec un foyer ardent, vient se joindre encore l'inconvénient majeur d'un chauffage nécessairement inégal, ou en tout cas bien difficile à régler.

Quel est l'ingénieur ou le constructeur pouvant s'engager à établir un foyer dont la température restera toujours fixe, et n'atteindra pas, à un moment donné, un degré tel que les matières contenues dans la chaudière ne subissent pas, au contact des parois de cette chaudière, une température qui en détruise les éléments ?

Comment construire des appareils de sûreté, et notamment des manomètres

(1) Nous avions offert à M. Renner d'insérer la notice même qu'il nous remettrait sur l'appareil qui porte son nom. Tout en ne lui reconnaissant pas le droit de s'opposer à la publication du dessin de son appareil, nous prions le directeur et l'éditeur de cette publication de mettre au rebut le bois représentant l'appareil de M. Renner, bois déjà gravé et prêt à mettre au tirage (12 septembre 1868).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

susceptibles de fonctionner avec des matières grasses qui se solidifient dans les tuyaux de conduite.

C'est au chauffage à feu nu qu'il faut attribuer l'insuccès de tous les appareils essayés jusqu'à ce jour pour la saponification aqueuse. La matière au contact des parois métalliques exposées directement à l'action d'un foyer atteint toujours un degré de température qui la décompose partiellement en matières charbonnées ou goudronneuses, de là cet aspect terreux et grisâtre qu'ont toujours gardé les matières décomposées à l'eau pure ou additionnée.

Il nous est difficile de parler ici de nos appareils, et dire qu'ils fonctionnent régulièrement, surtout après avoir énuméré tous les inconvénients des appareils de ce genre.

Laissons donc parler le rapport du jury de la classe 51.

« M. Léon Droux a exposé un appareil destiné à produire la décomposition des graisses par l'action de l'eau seule. On conçoit, après les essais nombreux que nous venons de rappeler, quel intérêt considérable s'attache aux nouvelles tentatives de cet exposant. A-t-il surmonté les dernières difficultés? S'est-il rapproché de la solution de ce problème intéressant? C'est ce que nous allons examiner.

« Son but principal a été d'obvier aux corrosions et aux fuites qui se manifestent si fréquemment dans un appareil qui contient des graisses, et qui travaille sous une pression de 10 à 12 atmosphères. A cet effet, l'exposant a entouré l'autoclave principal, jusqu'à la hauteur du liquide contenu, d'un manchon résistant de même à 10 ou 12 atmosphères, et qui contient de l'eau pure. Il espère par cette décomposition placer les parois de l'autoclave entre deux pressions, intérieure et extérieure, tout à fait égales, et remédier aussi à l'inconvénient signalé. Quelques produits fabriqués par ce genre d'appareil sont exposés. Les efforts de M. L. Droux nous paraissent mériter les encouragements qu'il a reçus, mais l'expérience manque encore pour pouvoir apprécier définitivement les progrès qu'il a réalisés. »

Ajoutons maintenant que cet appareil est chauffé à la vapeur, et qu'il travaille par circulation, conditions que nous croyons indispensables à la décomposition des matières grasses par l'eau.

A (fig. 13) est un cylindre en cuivre contenant les matières en traitement. B est une enveloppe en tôle destinée à la production de la vapeur quand on n'a pas une chaudière spéciale, ou, dans ce cas, destinée à servir d'enveloppe pour le chauffage, et pour maintenir la résistance du cuivre. C est un cylindre accessoire pour la réserve d'eau et de vapeur, ainsi que pour le placement des appareils d'alimentation et d'indication. Le cylindre C n'est utile que dans le cas où l'enveloppe B sert de chaudière génératrice de vapeur. Le chargement des matières a lieu par l'entrée *e*, la sortie par le robinet *x* placé à l'extrémité d'un tuyau plongeur qui sert en même temps de barbotteur et de vidange. La vapeur produite ou amenée dans l'enveloppe B est envoyée à volonté (par une simple rotation des deux robinets conjugués *rr*) au fond du cylindre A, ou à sa partie supérieure. Dans le premier cas, la vapeur, arrivant au bas du cylindre, traverse toute l'épaisseur de la couche d'eau et de suif pour gagner le haut de l'appareil. Dans le second cas, à la fin de l'opération elle vient presser la surface de la matière grasse qui est refoulée dans le plongeur pour venir sortir en *x*.

La vapeur qui a servi à opérer la décomposition et qui a traversé continuellement la masse liquide n'est pas rejetée en dehors.

Reprise par le robinet *m* en communication avec la tuyauterie de l'usine, elle est employée aux opérations suivantes, lavages, presses, etc., etc. Dans le cas où cette vapeur ne serait pas utilisée, un très-petit robinet (2 $^{m}/_{m}$) suffit pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laisser échapper la faible quantité indispensable à l'entretien du courant.

Tel est l'ensemble de cet appareil possédant les avantages suivants : chauffage régulier par enveloppe de vapeur, circulation forcée et certaine, éloignement des chances de fuite, le cuivre, métal dont la résistance décroît en raison de la

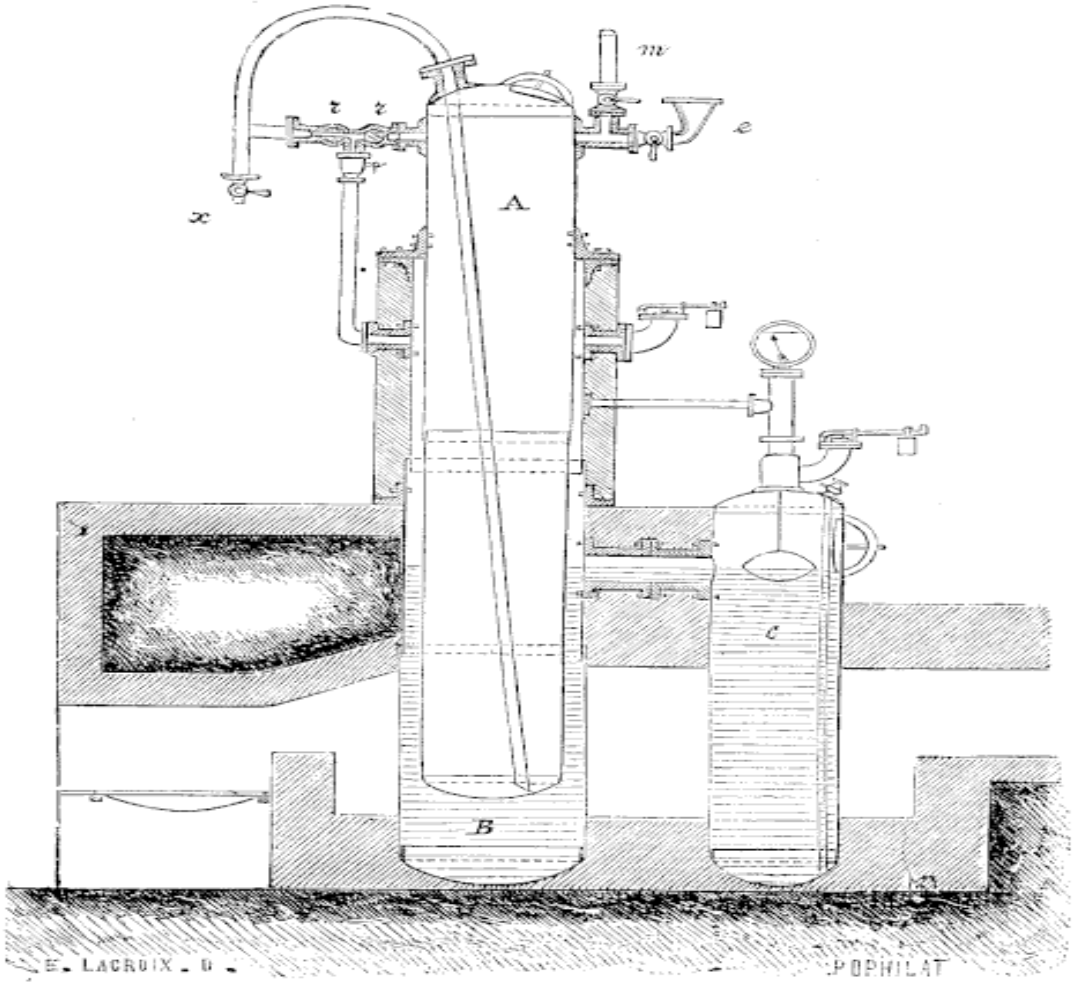


Fig. 12.

chaleur et de la pression, n'étant plus soumis à aucune pression, puisque celle du cylindre A correspond toujours à celle du cylindre B, et réciproquement.

Nous nous sommes étendu un peu longuement sur ces appareils de décomposition par l'eau, en raison de l'importance qu'ils tendent à prendre dans l'industrie.

La saponification à l'eau est possible, le résultat est certain, tout consiste aujourd'hui à posséder un appareil assez résistant, d'une conduite facile et n'altérant pas les matières. Cet appareil, nous croyons l'avoir construit, c'est celui que nous venons de décrire. — Il travaille dans plusieurs usines.

Nous avons donné plus haut l'ensemble d'un atelier pour le traitement par saponification calcaire. La planche 245 donne également l'ensemble d'un atelier destiné à la décomposition des matières grasses neutres en acides gras, par le système de la saponification aqueuse. Comme dans la précédente, nous ne donnons la fonte du suif que comme accessoire. Le générateur de vapeur est supposé du système inexplosible de Belleville ; quant aux générateurs et à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machine destinée à donner le mouvement mécanique aux ateliers de l'usine, nous ne les avons pas représentés.

C'est en A que s'opère la fonte du suif, sur un plancher assez élevé pour permettre l'écoulement du liquide dans les appareils à saponifier.

B, B, B sont les appareils de décomposition à enveloppe de vapeur que nous avons décrits plus haut.

Ils sont au nombre de deux pour traiter 2 à 3,000 kilog. par journée de travail. La vapeur est engendrée en C dans une chaudière tubulaire Belleville, ou dans tout autre système de générateur.

La sortie des matières décomposées s'opérant sous pression et à l'état liquide, on a la facilité de les conduire par des tuyaux même coudés.

Ces matières viennent donc sortir dans le bassin D, où l'eau glycérineuse se dépose. L'acide gras s'écoule ensuite dans un bassin E, où il est soumis à un lavage à l'eau acidulée, puis en F, où il est lavé à l'eau pure.

Il n'y a plus alors qu'à le laisser écouler dans les cristallisoirs M, d'où il est soumis à l'action des presses hydrauliques qui séparent l'acide oléique de l'acide stéarique.

XIX

Pendant que l'attention des chimistes et des fabricants se portait vers la décomposition des matières grasses par l'eau seule, M. de Milly, toujours à la tête de son industrie, reprenant la saponification en vase clos, arrivait par une heureuse modification à saponifier avec seulement 3 à 4 p. 100 de chaux.

M. Melsens avait déjà déclaré opérer la saponification à l'aide non-seulement de l'eau, mais surtout au moyen de l'eau additionnée d'acide faible et même d'alcali.

Nous avons vu plus haut que la saponification calcaire opérée en cuve ouverte nécessitait 14 p. 100 de chaux, en raison de l'imperfection des cuves ouvertes où le mélange n'était jamais intime. Nous avons expliqué que l'on pouvait se rapprocher de la proportion de chaux réellement utile, en divisant mieux la masse, et en opérant dans des appareils où le contact des matières grasses, de l'eau et de la chaux est rendu plus intime, c'est-à-dire en vase clos, et avec une température supérieure à 100, en raison de la pression de la vapeur ; mais si à ce système, qui produit toujours un savon basique, on substitue, comme l'a fait M. de Milly, un vase clos et une pression (température) considérable, on arrive à produire le dédoublement des matières neutres avec une quantité de chaux bien inférieure à celle exigée par la théorie.

C'est ainsi qu'en traitant en vase clos des corps gras neutres avec 6, 4, 2, et même 1 p. 100 de chaux, on produit des savons formés par la combinaison des acides gras avec la chaux, mais renfermant une proportion d'acide gras en excès.

Les conditions d'opération varient suivant la température et la pression, et l'expérience a démontré qu'en diminuant la proportion de chaux, la température et la pression pouvaient y suppléer.

La nature et les propriétés physiques du savon varient comme on devait s'y attendre.

Si la proportion de chaux se rapproche de celle nécessaire pour produire un savon neutre ou basique, ce savon sort de l'appareil avec des propriétés de solidification se rapprochant du savon ordinaire, tandis que le savon a 2 et 3 p. 100 de chaux, reste liquide au sortir de l'appareil, et ne se solidifie que par un refroidissement complet.

Les conditions nécessaires au succès de cette saponification sont les mêmes que pour la saponification à l'eau pure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La température et la pression élevée, l'agitation continuelle des matières, un système de chauffage régulier, un appareil résistant, et inattaquable à un savon qui possède les réactions acides de l'acide gras : telles sont ces conditions.

Le premier appareil de M. de Milly, dont voici la description (*fig.* 14), ne les réunissait pas toutes, c'était à peu de chose près l'autoclave de 1834.

Son brevet porte la date du 15 mai 1855, mais M. de Milly a heureusement modifié son appareil dans des additions successives.

Il se composait d'une grande chaudière A munie de trou d'homme, soupape de sûreté, etc., etc., chauffée par un foyer F.

Le mélange de suif, de chaux et d'eau, introduit par un tyau *t*, était soumis pendant 6 à 7 heures à une pression constante de 7 à 8 atmosphères ; la sortie de la matière saponifiée s'opérait au moyen d'un tuyau plongeur P, la pression intérieure refoulant le savon dans ce tuyau et l'amenant au dehors.

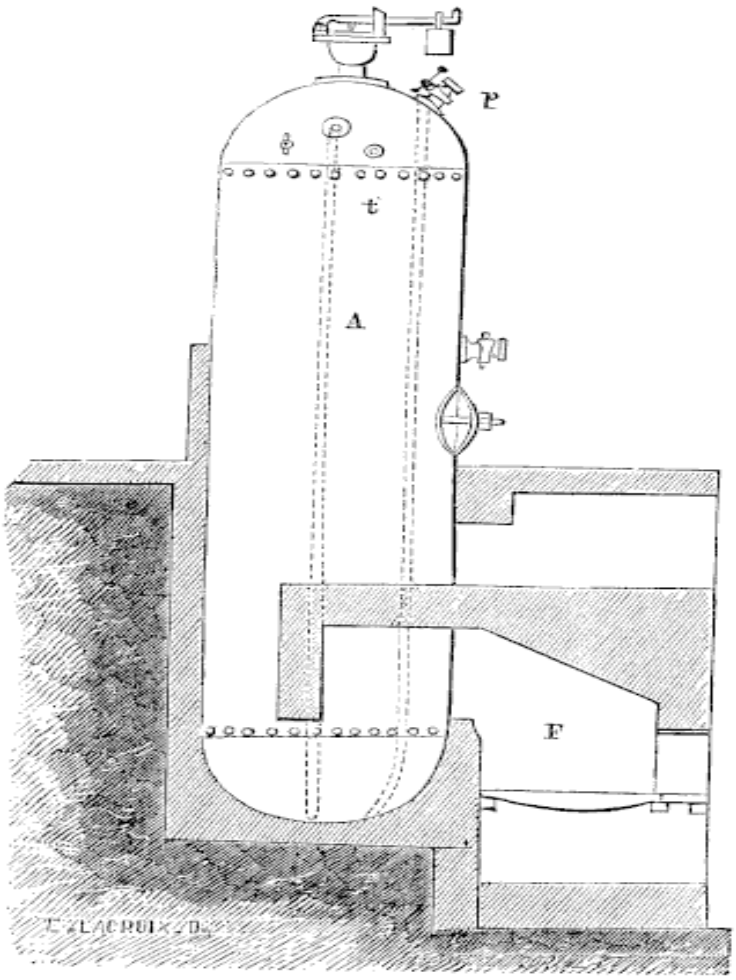


Fig. 14

M. de Milly ne tarda pas à s'apercevoir que son cylindre construit en fer était rapidement attaqué, et le remplaça par un cylindre en cuivre.

Mais, comme dans la décomposition aqueuse, le chauffage à feu nu attaquait souvent la matière, et ne pouvait établir une circulation de vapeur active ; aussi M. de Milly substitua-t-il bien vite le chauffage à la vapeur au chauffage à feu nu à l'aide d'une chaudière à vapeur spéciale.

Le courant de vapeur non-seulement produit une température régulière, mais divise et agite la masse par son arrivée au fond du cylindre qu'il traverse ensuite.

L'appareil de M. de Milly, grâce aux modifications, est devenu pratique ; indépendamment de l'usine de M. de Milly à Paris où il fonctionne, plusieurs établissements l'emploient à l'étranger et en obtiennent de bons résultats.

M. Payen, se basant sur les travaux de MM. Berthelot et Bouïs, explique ainsi les réactions qui se passent dans l'appareil de M. de Milly.

La stéarine, considérée à l'état neutre comme tristéarine, offre dans son hydratation par les différents modes de saponification la composition élémentaire et les transformations suivantes :

$$\underbrace{C^{114}H^{110}O^{12}}_{\text{Tristéarine.}} + \underbrace{6HO}_{\text{Eau.}} = \underbrace{3(C^{36}H^{36}O^{4})}_{\text{Acide stéarique.}} + \underbrace{C^{6}H^{8}O^{6}}_{\text{Glycérine.}}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En substituant des nombres dans cette équation, l'on voit que 11,125 de stéarine donnent 10,650 d'acide stéarique ou 95,7 pour 100, ce qui ne s'éloigne guère des résultats pratiques : car on peut obtenir en grand par, la saponification calcaire de 100 de suif, 93 à 94 d'acides gras, dont 48 à 50 à l'état solide fusibles de 52 à 54° et 44 à 45 à l'état liquide (acide oléique).

« Or, lorsqu'on emploie trois équivalents de chaux pour obtenir la saturation complète des trois équivalents d'acide stéarique, en décomposant la tristéarine, dont le poids est représenté par 11,125, il faut 3 (C a O) = 1050 ; ou p. 100 de stéarine, 9,43 de chaux ; en grand on emploie généralement pour 100 de suif 14 de chaux, car l'excès de cette base, très-peu soluble, a été reconnu utile afin de mieux assurer le contact intime entre toutes les parties ; on a donc, dans ce cas, un savon calcaire neutre, plus un excès de chaux, et il faut, pour le décomposer, ajouter une dose équivalente d'acide sulfurique. Si cet acide était exactement à un équivalent d'eau, il en faudrait 24,5 (en effet 350 : 612, 5 :: 14 : 24,5). L'expérience a démontré que l'on doit porter la dose à 28 centièmes (double du poids et la chaux employée) afin d'obtenir une réaction acide suffisante dans les lavages, de dissoudre les dernières traces de chaux et d'enlever l'oxyde de fer provenant des matières en contact avec les plaques en fonte et les armatures des presses.

« Lorsque, suivant la méthode de M. de Milly, on emploie seulement un équivalent de chaux au lieu de trois, la dose théorique est trois fois moindre ou 3,14 au lieu de 9,43 (11, 125 : 350 :: 100 : 3,14), et, en effet, dans les conditions où l'on opère, le contact étant plus intime, cette dose est bien suffisante, mais évidemment le produit obtenu doit être un mélange d'un équivalent de savon calcaire avec deux d'acides gras, outre la glycérine séparée à l'état de solution aqueuse.

« Pour expliquer la réaction dans ce cas, il faut signaler cinq causes qui concourent au phénomène et que nous allons spécifier en les rapportant à la stéarine naturelle :

« 1° La formation d'un équivalent de stéarate de chaux qui trouble la constitution de la tristéarine, et la rend moins stable ;

« 2° La solubilité notable du stéarate de chaux dans la stéarine et plus encore dans l'acide stéarique, ce qui tend, comme je l'ai expérimentalement reconnu, à rendre le mélange émulsif dans le liquide aqueux, et par l'affinité même qui existe entre l'acide gras et le savon calcaire, à provoquer la décomposition du corps gras neutre ;

« 3° L'action saponifiante qu'exercent en général tous les savons sur les matières grasses neutres, comme M. Pelouze l'a démontré ;

« 4° L'influence de l'eau à une haute température, influence qui pourrait suffire à elle seule pour décomposer la matière grasse neutre, en produisant les effets d'hydratation qui constituent les acides gras et la glycérine à l'état isolé ; mais, dans cette réaction réalisée en grand à l'aide d'appareils spéciaux, il faut une température plus élevée et un temps plus long ;

« 5° A ces quatre causes, une cinquième peut être ajoutée lorsque l'on opère sur les suifs ordinaires contenant de la stéarine, de la margarine et de l'oléine : la faible dose de chaux trouble l'arrangement moléculaire entre ces trois substances en agissant de préférence sur les deux premières, du moins est-il certain que, dans le produit, l'acide oléique libre se trouve en plus forte proportion. Voici les expériences qui m'ont permis de constater ce fait : si l'on soumet à une forte pression à froid le savon obtenu dans la chaudière close de M. de Milly, ce savon contenant 2,8 de chaux, et fusible à + 57, laisse un résidu solide qui, traité par l'acide chlorhydrique, a donné des acides gras ayant un point de fusion

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 47°. Le même savon calcaire du procédé de Milly, traité par l'alcool, laisse insoluble un savon dont les acides sont fusibles à 52, tandis que les acides gras libres dissous par l'alcool et extraits par l'évaporation de celui-ci se prennent à froid en une masse fusible à 40°.

« D'un autre côté, si l'on traite l'acide oléique des presses à froid, filtré, par 1 centième de chaux, l'acide engagé dans la combinaison est fusible à 36°. Un deuxième traitement par 0,01 de chaux donne un acide fusible à 31° ; l'acide gras non combiné traité encore par 0,01 de chaux produit un savon qui, séparé par l'alcool et décomposé par l'acide chlorhydrique, laisse un acide gras fluide.

« On voit, en définitive, qu'en employant une faible dose de chaux à une haute température, au contact de l'eau, on modifie immédiatement la constitution de la matière grasse, que le savon calcaire formé rendant le mélange émulsif et réagissant par son affinité propre pour les acides gras facilite la réaction de l'eau, évite la nécessité d'une très-haute température et abrége l'opération (Payen).

En résumé, ce procédé nous semble se relier intimement à la saponification par l'eau seule. Il est prouvé d'ailleurs que la décomposition aqueuse est singulièrement facilitée par l'adjonction même faible d'un acide ou d'un alcali.

Si l'on considère que M. Melsens est arrivé à saponifier avec l'eau légèrement additionnée d'acide, et même avec l'eau seule ; que, lorsque la circulation est complète dans l'appareil Wright et Fouché ou dans tout autre, la décomposition est également complète, il paraîtra peut-être plus simple de dire [1] que, dans le système dont il s'agit, la saponification s'opère par l'eau seule ; et que la présence de 2 p. 100 de chaux accélère et simplifie l'opération, en combattant l'affinité contraire qui, d'après les expériences de M. Berthelot, se manifeste au contact de l'acide gras libre et de la glycérine, et tend à reconstituer en un corps gras neutre. L'eau seule en abondance combat cette affinité avec succès ; une petite quantité d'alcali la combat mieux encore.

XXI

M. Fremy prit en 1855 (29 mai) un brevet d'invention, résumant ses travaux scientifiques et dont le but était d'opérer la saponification des corps gras au moyen de l'acide sulfurique étendu d'eau.

Dès 1834, M. Frémy, s'inspirant des travaux de M. Chevreul, avait déjà démontré que les corps gras, et principalement les huiles, se trouvaient décomposées par l'action de l'acide sulfurique concentré et transformés en acides doubles solubles dans l'eau.

Ces acides doubles se décomposent à leur tour par l'action de l'eau bouillante et fournissent des acides gras.

M. Fremy recommandait déjà à cette époque *d'opérer à une basse température* de manière à éviter la coloration des corps gras et le dégagement d'acide sulfureux.

Quand on opère par le système de distillation, comme nous le verrons plus loin, on charbonne, au contraire, une partie de la matière, et, par suite de l'élévation de température, les acides gras sont fortement colorés en noir et exigent impérieusement l'opération de la distillation.

En opérant à température élevée avec l'acide concentré, cet acide agit réellement comme comburant, et brûle, par son oxygène, la glycérine qui se dégage

[1] Barreswill et Girard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la saponification des corps gras, en même temps qu'une partie de ces corps gras. Au grave inconvénient de la coloration en noir s'en joint un autre non moins sérieux dû à l'action de l'acide sulfurique concentré sur le corps gras ; en second lieu l'acide oléique soumis à la distillation est toujours plus ou moins décomposé.

M. Fremy, pour éviter ces inconvénients, traite la matière grasse directement par une solution d'acide dans l'eau, et supprime la distillation puisqu'il obtient des acides gras susceptibles d'être soumis immédiatement à la pression. Il ne produit plus d'acides doubles solubles dans l'eau ; il n'y a plus dégagement d'acide sulfureux, ni coloration des acides gras.

La matière en traitement étant considérée comme un véritable sel de glycérine (stéarate, oléate, margarate) est décomposée par l'action longuement prolongée de l'acide sulfurique étendu ; il se forme du sulfate de glycérine (acide sulfo-glycérique), tandis que les acides gras sont mis en liberté. Voici comment M. Fremy explique lui-même la façon d'opérer :

« J'introduis dans une cuve, garnie intérieurement de plomb, le mélange de suif et d'acide sulfurique étendu marquant 25° environ. Un serpentin en plomb dans lequel on fait circuler de la vapeur détermine la fusion du corps gras ; on maintient le degré de concentration de l'acide au moyen d'additions successives d'eau ; j'insiste sur la prolongation de l'action de l'acide sulfurique sur le corps gras. La durée de cette action est en général de 48 heures, mais elle varie en plus ou en moins, suivant que les matières grasses sont plus fraîches ou plus rances ; le temps dans tous les cas est une condition indispensable du succès.

« Lorsque le corps gras est entièrement acidifié, ce que l'on reconnaît en levant des échantillons successifs de matières grasses, on enlève l'acide sulfurique, qui peut servir à d'autres opérations, on lave les acides gras, on les fait cristalliser, et on les soumet ensuite à l'action de la presse. »

La découverte de M. Fremy est réellement séduisante par la simplicité de son mode d'opérer. Les acides gras obtenus présentaient tous les aspects d'une matière facile à presser ; mais, par un fait singulier et inexpliqué, après les lavages et la pression, ces acides gras donnaient une matière légèrement colorée et qui se colorait d'autant plus qu'on la soumettait à de nouvelles pressions.

M. de Milly, qui a fait faire à l'industrie stéarique tant de progrès, reprenant les travaux de M. Fremy, a indiqué (brevet du 12 mai 1866) et mis en exploitation un système de fabrication tout aussi simple et qui donne également de bons résultats. Tout le monde a pu voir à l'Exposition, parmi les produits de M. de Milly, les specimens de cette nouvelle fabrication. La coloration des matières grasses traitées par l'acide sulfurique est due à deux causes (M. Bouïs) : 1° une matière non soluble ; 2° une matière charbonneuse.

Pour éviter de distiller, il suffirait donc de ne pas charbonner. M. de Milly y parvient en opérant l'acidification presque instantanément à la basse température de 100 à 110°. Il n'y a plus alors qu'à presser à froid et à chaud ; le tourteau de l'acide stéarique est très-blanc, l'acide oléique et le résidu ayant entraîné toute la matière soluble noire. L'acide oléique est débarrassé de cette matière colorante par une simple distillation.

Le corps gras maintenu à une certaine température s'écoule dans une barate en fonte contenant par chaque 100 kilogrammes de matières grasses 6 d'acide sulfurique concentré ; le contact ne dure que 2 minutes. Ce mélange est immédiatement versé dans de l'eau en ébullition qui dissout tout l'acide sulfurique. Les acides gras formés sont moulés en tourteaux de la façon ordinaire, puis pressés à froid et à chaud. Une seconde pression à chaud est généralement nécessaire pour obtenir des tourteaux d'une blancheur parfaite. Cette façon d'opérer évite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la production des matières charbonneuses, ainsi que la coloration persistante. Quant à l'acide oléique, il est très-coloré, mais de bonne qualité et utilisable à la fabrication d'un savon à teinte malheureusement noirâtre. Pour obtenir de l'acide oléique d'une nuance ordinaire, il est indispensable de le soumettre à la distillation. Ici tous les inconvénients de l'acide oléique distillé se reproduisent, mais l'acide stéarique obtenu présente tous les avantages de celui fourni par saponification.

Par la distillation de cet acide oléique, on retrouve une matière solide qui, ajoutée à celle que l'on a d'abord obtenue, constitue un rendement dont les éléments d'appréciation nous manquent, mais qui doit être nécessairement supérieur au maximum de rendement obtenu par la saponification calcaire et même par la distillation dans les conditions où on la pratique.

Ce nouveau procédé indiqué par M. de Milly est un des faits saillants de l'Exposition universelle.

XXII

Les travaux de M. Fremy que nous venons de rappeler, ceux de M. Dubrunfaut, en France, et de MM. Gwynne et Wilson, en Angleterre, ont servi de base à d'autres procédés de fabrication, dits *par distillation*. Aujourd'hui, l'Angleterre, la Hollande, la Belgique et tous les pays du Nord, possèdent de vastes usines où la distillation seule est en usage. Étudiée par les fabricants de ces pays, et mieux comprise, cette façon d'opérer a pris une extension considérable, et nous avons, notamment en Belgique et en Hollande, des établissements qui, ne reculant devant aucuns frais pour le perfectionnement de leurs procédés de fabrication et de leur matériel, viennent aujourd'hui faire concurrence à nos fabriques françaises, et peuvent même, si l'on n'y prend garde, compromettre leur avenir.

Les industriels français, protégés jusqu'à l'an dernier par des droits de douane considérables, se sont endormis dans une douce quiétude, continuant à repousser systématiquement toute amélioration dans leurs usines; et aujourd'hui, pour me servir des termes mêmes de la pétition qu'ils viennent d'adresser au gouvernement, la stéarinerie est aux abois. Ce n'est pas en vain que dès 1862 M. Stas, l'un des rapporteurs du jury de Londres, leur disait :

« Que les usines, dans lesquelles on continuait à pratiquer l'ancien procédé de la saponification calcaire, *devaient succomber dans un avenir très-prochain*, par suite de la concurrence des produits plus économiquement fabriqués. »

Nous ne voulons pas dire ici qu'il faut repousser la saponification, et que les fabricants français doivent s'empresser de monter des appareils distillatoires; loin de nous cette pensée, car, si l'acide stéarique de distillation peut remplacer celui obtenu par saponification, il n'en est pas de même pour l'acide oléique.

Chacun sait que l'acide oléique de distillation a subi une modification profonde et qu'il est difficilement utilisable à la fabrication des savons.

Le succès de la distillation dans les pays du Nord est dû surtout à des causes locales. En France, nous ne consommons que du savon dur à base de soude, tandis que, dans les pays du Nord, c'est le savon mou à base de potasse qui est généralement employé. L'acide oléique distillé ne produit que de mauvais savons durs, et encore faut-il le mélanger avec des graisses d'os, tandis que l'acide oléique de distillation produit d'assez bons savons mous. C'est là un point que les industriels français n'ont pas encore bien compris, et contre lequel il leur sera difficile de lutter; mais, à côté de la distillation, se trouvent les nouveaux procédés de saponification calcaire, ceux de décomposition aqueuse et les traitements mixtes (soit à l'aide d'un acide étendu, soit au moyen d'une faible pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

portion d'alcali) ; et c'est plutôt vers ces procédés susceptibles de fournir de l'acide oléique non attaqué qu'ils doivent tourner leurs efforts.

Il est en outre un fait certain, c'est qu'à l'aide de procédés d'acidification mieux entendus, et d'appareils mieux construits, on arrivera à distiller d'une façon telle, que l'acide oléique soit peu ou point attaqué, ce jour là, la distillation régnera sans partage.

Là doit être encore le but des recherches de tous ceux qui s'occupent de stéarinerie.

La saponification ne peut employer que des matières premières de bonne qualité. Les suifs d'os, les graisses inférieures et l'huile de palme, que les colonies nous fournissent en si grande abondance, tous produits de moindre valeur et plus fusibles sont éminemment propres à être distillés. L'introduction de ce système de fabrication date de 1843; et c'est chez M. Wilson, à Londres (*Price's Patent candle company*), qu'il a été appliqué pour la première fois. Vers 1848, MM. Masse et Tribouillet, cessionnaires des brevets Dubrunfaut, établirent, à Neuilly-Paris, un établissement considérable pour traiter les matières grasses par distillation. Fondu dans la société générale de stéarinerie, cet établissement a cessé de fonctionner en même temps que cette société, qui ne travaillait également que par distillation.

On a voulu voir dans les travaux de MM. Chevreul et Gay-Lussac, dans ceux de Macquer, de Chaptal, et antérieurement de Manicler, l'idée de la distillation et de l'acidification sulfurique. Mais c'est bien à M. Fremy que nous sommes redevables des bases sur lesquelles repose cette industrie.

Dans les commencements, on versait graduellement, dans le corps gras préalablement chauffé, jusqu'à 40 p. 100 de son poids d'acide sulfurique concentré. On élevait lentement la température du mélange jusqu'à 100°, et on l'y maintenait pendant 36 et même 40 heures. L'emploi d'un pareil excès d'acide sulfurique, et d'une chaleur si longtemps continuée, entraînait la destruction d'un cinquième et même d'un quart des éléments du corps gras : cette destruction portait notamment sur toute la glycérine, sur l'acide oléique, et enfin sur une certaine proportion d'acides gras solides. La majeure partie des matières altérées se séparait sous forme de goudron qui, primitivement, était sans valeur et complétement perdu. On a successivement diminué la quantité d'acide sulfurique, en tenant compte toutefois de la nature des corps gras, qui sont plus ou moins attaquables par l'acide. C'est ainsi qu'à la société générale de stéarinerie on est parvenu d'abord à ne plus employer que 20 p. 100 d'acide, puis 10 chez M. de Milly, 8 dans l'usine de M. Mottard, à Berlin, et enfin 4 et 5 p. 100 chez MM. de Roubaix, à Bruxelles. M. Knab, s'inspirant des travaux de M. Fremy, parvint à réduire considérablement la durée du contact de la matière grasse avec l'acide et mit en usage l'acidification dite *instantanée*; mais son procédé, employé encore aujourd'hui dans plusieurs fabriques, a l'inconvénient d'entraîner une forte consommation d'acide sulfurique.

A mesure que l'on économisait l'acide, on élevait la température du mélange, on le portait successivement jusqu'à 120°; on a ainsi diminué la production de goudron, mais on est encore loin d'obtenir une réduction proportionnelle à celle de la quantité d'acide employé. Les fabricants ne sont pas d'ailleurs d'accord entre eux ni sur les proportions du déchet, ni sur les rendements en acides gras bruts distillés et solides. Les uns prétendent n'obtenir que 8 p. 100 de perte, c'est-à-dire un rendement de 92 d'acides gras lavés, prêts à être portés aux presses; d'autres, au contraire, prétendent n'en obtenir que 82 à 85. Pour élucider ces questions, M. Stas a exécuté, dans une usine et avec tous les soins possibles, l'expérience suivante que nous extrayons de son rapport :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« 1,500 kilogrammes de suif bien épuré, bien déshydraté, dont le point de solidification était de 32°, introduits dans une chaudière en cuivre rouge et chauffés à 105° par la vapeur circulant dans une double enveloppe, furent additionnés de 240 kilogrammes d'acide sulfurique à 42° Baumé, représentant 8 p. 100 d'acide à 66° Baumé. Le mélange, continuellement mis en mouvement à l'aide d'un agitateur mécanique, fut maintenu pendant dix heures à une température intermédiaire entre 105 et 110°. Pendant tout ce temps, il y eut à peine coloration et dégagement de traces d'acide sulfureux.

« La température, ensuite, ayant été élevée pendant 16 heures à 115°-118°, l'acide sulfurique se concentrant, tant par évaporation que par la fixation des éléments de l'eau sur la matière grasse, le corps gras, déjà en partie saponifié, se colora fortement avec dégagement très-prononcé d'acide sulfureux et d'acroléine.

« La matière, abandonnée au repos, pour laisser parfaitement déposer le goudron, fut reçue dans la moitié de son volume d'eau bouillante et entretenue à 100°, pendant trois heures, par un jet de vapeur, qui produisit encore un dégagement considérable d'acide sulfureux et d'une odeur de corps gras brûlé.

« Abandonnée de nouveau au repos, elle fut décantée de l'eau acide, qui s'en était séparée, entraînant une nouvelle quantité de matière goudronneuse. Les acides gras étaient noirs, mais transparents ; ils furent soumis à de nouveaux traitements à l'eau et à la vapeur, jusqu'à neutralité sensible des eaux de lavage. Après avoir été chauffés à 150°, ils pesaient 1305 kilogr. = 87 p. 100 du suif employé.

« Les goudrons reunis furent lavés complétement à l'eau bouillante, séchés et mêlés à la température de 100° dans la chaudière même, avec quatre fois leur poids de sciure de bois préalablement traitée au naphte de schiste. Le mélange, introduit dans un appareil de déplacement en plomb, fut ensuite épuisé de toute matière soluble par du naphte pur.

« Le résidu de l'évaporation de la solution fournit 37 kilogr. 5 de matière noire, fusible à 46°,5, ce qui porte le poids total des acides gras bruts produits par 1,500 kilogr. de suif à 1342,5 kilogr. ou 89,5 pour 100.

« Ces acides gras noirs, très-cristallins, dont le point de solidification était de 42°,8 à 43°, furent soumis à la distillation par la vapeur à une température comprise entre 225 et 240° ; ils produisirent 1264,5 kilogr. d'acides gras très-cristallins, dont le point de solidification était 42°-42°,5.

« Pendant tout le temps de la distillation, le volume d'eau, par rapport au volume d'acide gras, fut comme 6,55 est à 1. Dans les usines, le rapport est presque toujours comme 2 : 1 ou même 3 : 2 et 1 : 1, parce que, dans la plupart des ateliers, la température s'élève entre 290° et 325°. On avait distillé à dessein à une plus basse température, pour être certain de ne pas altérer les acides gras.

« Ces 1254,5 kilogrammes d'acides distillés représentent donc un rendement de 94 p. 100 d'acides gras et un rendement de 84,3 p. 100 de matière première. La distillation provoque donc une perte de 6 p. 100 du corps gras acidifié, et, comme on ne peut pas opérer industriellement avec tant de précautions, cette perte doit être considérée comme un minimum et le rendement de 84,3 comme un maximum.

« Ce rendement constitue néanmoins une perte de 12,3 p. 100, puisqu'il est connu que 100 de suif produisent 95,8 à 96 p. 100 de mélange d'acides gras par saponification alcaline ou aqueuse.

« Cette perte qui, dans l'expérience, représente 1/8 du suif employé, et qui, dans certaines usines, s'élève à 1/6 et même à 1/5, provient de l'action destructive de l'acide sulfurique sur les acides gras, et surtout sur l'acide oléique. »

Nous avons voulu citer l'opinion du savant chimiste belge, quoique nous soyons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certain de la possibilité d'obtenir un rendement supérieur en acides gras, distillés et prêts à recevoir la pression.

En effet, la perte considérable de matière signalée ci-dessus n'est due qu'à des causes de destruction qu'on est parvenu à éviter aujourd'hui.

Dans les premiers temps, chez M. Masse et Tribouillet, l'acidification des matières s'opérait dans une grande chaudière en fonte à double fond, dans laquelle la matière grasse préalablement lavée, puis desséchée, était soumise pendant 12 à 18 heures à un battage prolongé avec 25 p. 100 de leur poids d'acide sulfurique concentré. La température était maintenue entre 110 et 115.

Quant à la distillation, elle s'opérait dans des alambics en cuivre chauffés par bain de sable dans une double chaudière en fonte, dans lesquels on amenait un courant de vapeur surchauffée.

C'était à peu près l'appareil distillatoire que tout le monde connaît, et qu'il est inutile de représenter ici.

M. Poisat, manufacturier à Lafolie-Nanterre (Paris), dont l'usine a été fondue comme celle de Neuilly dans la société générale de stéarinerie, aujourd'hui en liquidation, avait essayé de rendre la distillation continue au moyen d'un appareil bien combiné, mais dont on a dû cesser l'emploi, en raison de la grande dépense de plomb, et des perfectionnements qu'on a depuis apportés dans cette industrie. L'appareil à bain de plomb de M. Poisat mérite cependant d'être cité.

L'appareil distillatoire se compose d'un cylindre en cuivre A, fermé aux deux

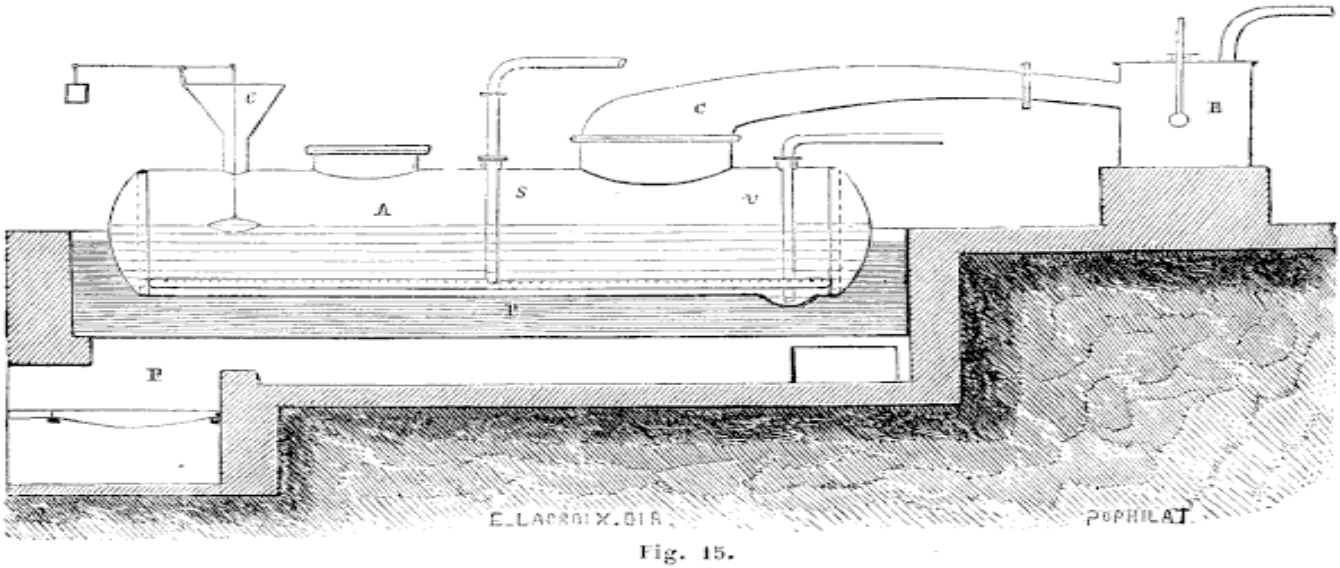


Fig. 15.

extrémités et présentant une certaine analogie avec les générateurs de vapeur. Il est muni d'un trou d'homme pour pénétrer à l'intérieur, d'indicateur de niveau et de thermomètres.

Une seconde large ouverture, analogue à celle du trou d'homme, C, reçoit une rallonge en cuivre pour emmener les produits de la distillation.

Pour arriver à obtenir un chauffage régulier, mais variable suivant la nature de la matière à distiller, M. Poisat avait enveloppé l'appareil distillatoire, d'une autre chaudière en fonte P contenant du plomb fondu.

Cette chaudière était chauffée à son tour par un foyer ordinaire F.

Un tuyau de vapeur *s*, se raccordant avec un autre tuyau percé de trous et placé longitudinalement dans le fond du cylindre, amenait la vapeur simple dans l'origine, puis surchauffée plus tard, et un plongeur *v* servait à l'extraction des résidus goudronneux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La matière grasse acidifiée, lavée et séchée arrivait en un petit filet mince dans l'entonnoir *e*, un niveau intérieur ne laissait pénétrer dans l'appareil que la quantité de matière neuve correspondante à celle distillée. Les acides gras maintenus par le bain de plomb à la température de 300° étaient entraînés par le courant de vapeur arrivant dans la rallonge *c*, puis dans le vase L, où l'eau condensée se déposait en partie, et enfin dans un serpentin refrigérant non représenté au dessin. Cet appareil a été abandonné.

Divers systèmes ont été proposés et mis en usage pour fabriquer l'acide stéarique par distillation. Nous ne pouvons entrer ici dans le détail de tous ceux qui ont été imaginés, nous préférons donner la marche suivie dans les usines où la distillation est pratiquée avec succès.

On trouvera dans la planche 236 l'ensemble d'une fabrique d'acide stéarique par distillation. Nous n'avons indiqué dans cette planche que les appareils d'acidification de lavage et de distillation, les opérations suivantes de la presse hydraulique étant toujours les mêmes dans n'importe quel système de fabrication.

Les matières premières, suifs, huiles de palme, graisses de toute nature arrivant à l'usine en tonneaux, sont dépotées et fondues en A, bassin enterré au niveau du sol. Elles s'écoulent dans le monte-jus B qui les remonte dans le bassin C, où elles sont desséchées à l'aide d'un serpentin de vapeur. Cette dessiccation est indispensable pour que l'opération suivante de l'acidification soit complète. Elle dure deux ou trois heures, il suffit de maintenir le liquide à + 110. En effet, si les matières grasses étaient humides, l'acide sulfurique absorberait avec énergie toute leur humidité, et son action sur les matières grasses serait incomplète, et en tout cas irrégulière.

Avant d'être desséchées par ce courant de vapeur, les matières reçoivent presque toujours un lavage à l'eau acidulée dans un bassin accessoire non représenté dans la planche 236.

Du bassin à dessécher C, les matières grasses ou leur mélange (généralement suif et huile de palme) s'écoulent dans le bassin à acidifier D formé d'une cuve cylindrique en bois ou en tôle, garnie intérieurement de plomb épais, et renfermant un serpentin en plomb, chauffant par simple contact. Dans quelques usines, ce serpentin est mobile, se démonte, pour être enlevé lorsque la matière grasse atteint la température à laquelle on veut acidifier, il est alors en cuivre.

Un disque métallique percé de trous et susceptible de recevoir mécaniquement ou à bras un mouvement de haut en bas, est disposé pour agiter le liquide contenu dans le bassin.

L'acide sulfurique destiné à l'acidification est préparé dans le petit bassin en plomb E.

Les matières grasses desséchées en C, étant amenées en D, on les chauffe jusqu'à 100 ou 105, suivant la nature des graisses, puis on y laisse couler l'acide sulfurique en un petit filet mince, et en ayant soin d'agiter continuellement la masse pour empêcher l'acide de se précipiter au fond du bassin. La proportion moyenne d'acide sulfurique à 66 à employer est d'environ 10 à 15 p. 100.

Au contact de l'acide sulfurique concentré, la matière grasse se colore, une partie de la glycérine se décompose en réduisant une portion de l'acide sulfurique en acide sulfureux dont le dégagement devient abondant, tandis que la matière grasse neutre se convertit en une masse formée du mélange des acides sulfogras avec l'acide sulfoglycérique.

Cinq à six heures d'agitation constante sont nécessaires pour opérer la décomposition complète.

Se basant sur les travaux de M. Fremy relatifs à l'action de l'acide sulfurique en contact avec les matières grasses, M. Knab prit en 1854 un brevet dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lequel il dit être parvenu à rendre en grand et industriellement la réaction de l'acide sulfurique instantanée, c'est-à-dire que la durée de chaque opération fractionnée se trouve réduite à une minute, et que, dans vingt ou trente opérations successives, on décompose complétement 1000 kilogrammes de matière grasse en une demi-heure.

Les matières grasses préparées dans un réservoir, et maintenues à la température de 120°, s'écoulent par un robinet dans un petit récipient monté sur bascule, qui en même temps que la matière grasse reçoit une quantité proportionnelle d'acide sulfurique.

Un ouvrier agite immédiatement ces deux matières avec une spatule en bois, puis par un mouvement de bascule précipite le mélange de matière acidifiée dans une cuve remplie d'eau bouillante, pour recommencer une nouvelle acidification dans la petite cuvette, et ainsi de suite.

Le système de M. Knab avait l'inconvénient de nécessiter, pour obtenir des réactions complexes, une quantité surabondante d'acide sulfurique. Elle était à l'origine de 50 pour 100. On a depuis, dans les usines où ce système est toujours en usage, diminué la proportion d'une façon telle, que M. de Roubaix en est venu à ne plus employer que 6 p. 100.

En employant 30 p. 100 d'acide, la température des matières doit être au maximum de 80°.

Avec 10 p. 100 d'acide la température doit être portée à 105° et la durée de la réaction amenée à 4 ou 5 minutes.

Plusieurs fabricants prétendent être arrivés aussi à n'employer que 6 p. 100 d'acide et à obtenir 92 p. 100 d'acide gras rendant 88 à 89 après distillation.

Malgré les avantages ci-dessus,le procédé Knab, dit par *acidification instantanée*, ou par *acidification fractionnée*, a été abandonné dans beaucoup d'usines.

Quel que soit le mode d'acidification employé, la matière acidifiée s'écoule en F dans un troisième bassin doublé en plomb, muni d'un serpentin à échappement de vapeur, où elle est soumise à plusieurs lavages à l'eau, dont le but est de la dépouiller complétement de matières acides.

On remonte par un monte-jus G la matière lavée dans un bassin H, où elle est de nouveau desséchée avant d'être soumise à la distillation.

L'appareil à distiller se compose de trois parties bien distinctes.

L'appareil en lui-même I formé de deux calottes en fonte, réunies par un joint boulonné. La calotte inférieure soumise à l'action d'un courant de flamme se détériore assez vite, cette disposition a donc été adoptée en raison de la facilité de construction, et afin de pouvoir remplacer la calotte inférieure, tout en conservant la calotte supérieure moins sujette à l'usure. Une tubulure et un robinet existe au bas de la seconde calotte pour l'extraction du goudron. Dans quelques appareils, le goudron est extrait par un tuyau plongeur, mais cette disposition nécessite un appareil clos, pour y maintenir la faible pression utile au refoulement des matières dans le plongeur.

La calotte supérieure est munie d'un trou d'homme, d'une large tubulure à laquelle est boulonnée la rallonge du serpentin réfrigérant, d'une tubulure pour entrée de vapeur et souvent d'un thermomètre.

Le surchauffeur forme la seconde partie de l'appareil à distiller. Divers systèmes ont été essayés. On a construit des serpentins en fer creux, maintenus dans un foyer, des appareils en fonte, criblés d'ouvertures à travers lesquelles passait la vapeur, mais les surchauffeurs les plus généralement employés sont ceux figurés dans notre dessin en J et composés de tuyaux en fonte placés dans un four à réverbère J. Le même foyer sert au chauffage de tubes et de l'appareil.

La vapeur empruntée aux générateurs ordinaires de l'usine traverse d'abord

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un petit tambour dans lequel elle dépose l'eau entraînée, puis s'engage dans les serpentins surchauffeurs, d'où elle pénètre au fond de l'appareil à distiller.

Le réfrigérant K forme la troisième partie de l'appareil. Il existe encore divers systèmes de réfrigérants. Tous sont en plomb, ils sont quelquefois construits en forme de colonnes droites surmontées haut et bas d'un conduit reliant ces colonnes, mais ils affectent généralement la forme des réfrigérants ordinaires.

Le diamètre moyen des tubes employés à leur construction est de 6 à 8 centimètres.

L'eau du bassin destiné au refroidissement ne doit jamais descendre à une température inférieure au point de solidification des acides gras qu'ils doivent refroidir.

A l'extrémité du serpentin, et en dehors du bassin réfrigérant existe une caisse L dans laquelle s'écoule la matière distillée.

Une série de tubes M est placée à la suite de la sortie du serpentin, afin de condenser ce que les gaz pourraient entraîner.

Voici, pour terminer ce travail sur la stéarinerie, les comptes de fabrication et de rendement pour chaque système de fabrication, pour traiter 100 kilos de matière grasse.

100 kilogrammes de suif.	PRIX DES 100 KIL.	SAPONIFICATION CALCAIRE en CUVE OUVERTE.		SAPONIFICATION CALCAIRE en VASE CLOS.	
Chaux	2 fr.	14 kil.	0fr,42	11 kil.	0fr,33
Acide sulfurique à 53°	8	42	3 ,36	33	2 ,64
Houille	3	80	2 ,40	40	1 ,20
Main d'œuvre	»	»	3 ,00	»	2 ,00
Entretien, réparations	»	»	0 ,50	»	0 ,30
Total, non compris les frais généraux	.....		9fr,68		6fr,47
Rendement moyen	.....	Acide stéarique... 46,5 Acide oléique..... 46,5	93	Acide stéarique... 47,0 Acide oléique.... 46,5	93,5

80 à 90 kilogr. de suif. 20 à 10 kil. d'huile de palme.	PRIX DES 100 KIL.	DÉCOMPOSITION AQUEUSE.		DISTILLATION.	
Acide sulfurique à 66°	12 fr.	5 kil.	0fr,60	15 kil.	1fr,80
Houille	3	70	2 ,10	100	3 ,00
Main d'œuvre	»	»	2 ,00	»	2 ,25
Entretien, réparation	»	»	0 ,60	»	1 ,00
			5fr,38		8 ,05
Rendement moyen	.....	Acide stéarique..... 47 Acide oléique..... 47	94	Acide stéarique... 63 Acide oléique..... 25	88

Nous dirons donc aux fabricants français, ce que leur disait déjà M. Stas en 1862 :

Que les industriels qui continuent à fabriquer par les anciens procédés de saponification doivent modifier leur matériel s'ils ne veulent être contraints à fermer leurs établissements par suite de la concurrence étrangère.

En tout, et toujours il faut suivre le progrès, c'est la loi de notre époque.

LÉON DROUX,
Ingénieur Civil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXIII

LES VERRES ET LES CRISTAUX

A L'EXPOSITION UNIVERSELLE.

PAR **M. A. F. NOGUÈS,**
Professeur de sciences physiques à Lyon.

I. — Historique.

D'après leur composition, les verres sont des silicates doubles de chaux et de potasse, ou de soude; lorsqu'ils sont colorés, comme dans les verres à bouteille, les silicates alcalins sont remplacés en partie par des silicates métalliques très-fusibles.

Le cristal est un verre incolore d'une composition particulière : la chaux est remplacée par l'oxyde plombique; c'est donc un silicate double plombo-potassique.

On peut partager les diverses espèces de verre en trois classes :

1° Verres incolores ordinaires que l'on emploie pour la gobeleterie, les vitres, les glaces coulées : ce sont des silicates doubles sodo ou potasso-calciques.

En France, on emploie, dans la fabrication des verres ordinaires, le carbonate sodique de préférence au carbonate potassique; mais en Allemagne, où la potasse est à meilleur marché, on lui donne la préférence. La soude donne des verres plus fusibles et plus faciles à travailler; mais ils sont toujours un peu colorés.

Les verres de Bohême, qui servent en Allemagne à fabriquer la gobeleterie, sont à base de potasse; l'oxygène de la chaux est à celui de la potasse dans le rapport :: 1 : $\frac{2}{3}$ pour les verres à gobeleterie fine, et :: 1 : 1 dans les verres destinés au coulage des glaces.

2° Verres colorés communs, ou verres à bouteilles, silicates multiples de chaux, d'oxyde ferreux ou ferrique, d'alumine, de potasse ou de soude; ils sont fabriqués avec des matières premières de peu de valeur; ils sont colorés en vert foncé, en jaune brun, etc., selon la présence de l'oxyde ferreux ou de l'oxyde manganique et ferrique. Ces verres empruntent quelquefois aussi leur coloration au charbon ou au soufre.

3° Cristal, verre de luxe, complétement incolore, fabriqué avec des matières premières pures; le rapport exact de l'oxygène de la potasse à celui de l'oxyde plombique varie de 1 : 1 à 1 : 2,5. En augmentant la proportion d'oxyde plombique, le cristal acquiert une plus grande densité et des pouvoirs dispersif et réfringent plus considérables.

On emploie, pour les instruments d'optique, des espèces particulières de verre : l'un sans plomb, le crown-glass; l'autre plombeux, le flint-glass.

Le crown-glass présente une composition analogue à celle du verre de Bohême; il contient 120 parties sable fin, 35 carbonate potassique, 20 carbonate sodique, 20 craie, 1 acide arsénieux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le flint-glass renferme 100 parties sable fin, 100 minium, 30 carbonate potassique pur.

Le strass est un cristal spécial, très-dense et très-réfringent, qui sert à imiter le diamant. Il est fabriqué avec des matières très-pures, et affiné avec le plus grand soin.

L'émail est une espèce de verre, rendue opaque par l'oxyde stannique, l'acide arsénieux, le phosphate calcique ou l'antimoniate antimonique. On le colore au moyen de certains oxydes métalliques.

S'il faut en croire Pline, la découverte du verre serait due à des voyageurs phéniciens. Des marchands, qui traversaient la Phénicie, allumèrent du feu sur le fleuve Bélus, pour faire cuire leurs aliments. Pour élever leur foyer, ils se servirent de mottes de natron mêlées de sable. L'activité de la chaleur que ce mélange éprouva détermina sa vitrification et le fit couler. Ce flot brillant et écumeux prit, en se refroidissant, la forme d'un corps solide et diaphane. Ainsi fut trouvé, par hasard, mille ans avant Jésus-Christ, le procédé de la fabrication du verre.

Mais il est impossible d'admettre ce récit de Pline; car il aurait fallu, pour combiner la chaux, la soude et la silice, une température beaucoup plus élevée que celle qu'exigeait la cuisson des aliments de quelques marchands phéniciens.

Il est plus probable que la découverte du verre est due au traitement des métaux par fusion; on sait que les gangues en se liquéfiant donnent des laitiers qui sont souvent de véritables verres.

Quoi qu'il en soit de l'origine du verre, il est certain qu'il a été connu de la plus haute antiquité; car il en est parlé dans le livre que l'on considère en Occident comme le plus ancien monument de la parole écrite : « Le cristal, l'émeraude, ne sont rien auprès d'elle. » (Job, vers. 17.) « Ne regarde point le vin quand il petille, quand sa couleur brille dans la coupe de verre. » (Proverbes, vers. 31.)

Théophraste, l'an 370 avant Jésus-Christ, cite des verreries phéniciennes situées à l'embouchure du fleuve Bélus. Les Égyptiens, dès l'antiquité la plus reculée, connaissaient l'art de fabriquer des verres blancs et des verres colorés, de les tailler, de les dorer. Les parures et les objets en verre, trouvés sur plusieurs momies de Thèbes et de Memphis, en sont une preuve non équivoque.

Les Romains connaissaient le verre plus de deux siècles avant Jésus-Christ; ils le recevaient de l'Orient. La première verrerie qui s'établit à Rome, sous Néron, ne produisit d'abord que des verres à boire de qualité très-médiocre; mais, sous Alexandre Sévère, l'an 240 après Jésus-Christ, le nombre des verriers s'était tellement augmenté à Rome que la police des empereurs de l'époque les consigna dans un quartier séparé.

Au moyen âge, l'Italie avait acquis une grande réputation dans l'art de fabriquer le verre. Venise surtout se distingua par ses verreries, qui, en 1291, furent reléguées à deux lieues de la ville, dans la presqu'île de Murano; c'est là, dit-on, que furent fabriquées les premières glaces soufflées. Aujourd'hui, les verreries de Venise sont encore renommées; les parures et les bijoux en verre, l'aventurine, même les glaces de Venise sont encore l'objet d'un commerce important.

C'est aussi dans le moyen âge que la fabrication du verre s'introduisit en Bohême, et y acquit une importance et une réputation qu'elle a conservées jusqu'à nos jours.

Aujourd'hui, on fabrique du verre dans tous les États de l'Europe; cependant certaines contrées ont conservé une réputation de supériorité dans les produits. La France peut se mesurer avec les plus habiles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voici les observations générales suggérées à M. Salvétat, par l'Exposition universelle de Londres, en 1862 : « La fabrication des glaces ne semble pas être en Angleterre en voie de grands progrès. Elle s'est abstenue à Londres cette année, comme elle l'avait déjà fait à Paris en 1855. Les fabricants anglais semblent, au reste, ignorer l'état de leur industrie et les causes qui maintiennent leurs produits dans un état d'infériorité notoire vis-à-vis des produits similaires français ou belges. Lors de l'enquête à l'occasion du traité de commerce avec l'Angleterre, ils ne s'étaient fait aucune illusion sur l'éventualité des débouchés qu'ils pouvaient en retirer, et, depuis la conclusion du traité, l'expérience a démontré combien étaient peu fondées les craintes des établissements français de Saint-Gobain, de Cirey et de Montluçon. La nuance verdâtre des produits anglais les tient éloignés de nos marchés, et cet état de choses peut durer encore longtemps. Les autres fabrications qui se rattachent à la production du verre sont en voie réelle de progrès en Angleterre. Les cristaux et les verres à vitre s'y fabriquent dans des usines très-importantes. Nous pouvons expliquer en quelques mots le développement de ces deux industries.

« Tant que l'art de la vitrification s'exerce sur des objets chez lesquels domine l'élément industriel, la fabrication anglaise est remarquable. Lorsque la forme emprunte un caractère artistique, on sent l'influence qu'exerce sur nos voisins le goût français. Ces observations s'appliquent surtout au cristal et à la gobeleterie.

« Les exposants de cristal anglais ont abandonné leurs anciens modèles lourds et disgracieux ; ils ont adopté les dessins que le commerce français a mis en vogue, et ils se sont montrés très-habiles concurrents. Leurs cristaux unis et taillés, sont irréprochables ; la gravure à la roue est très-bien exécutée ; on y retrouve l'habileté des artistes allemands, et ce genre est très-estimé.

« Néanmoins, malgré la splendeur des expositions anglaises, l'impression des visiteurs est unanime, et le public a regretté l'absence des cristaux de couleur ; c'est que le sens éminemment pratique des Anglais leur fait abandonner toute fabrication pour laquelle les risques à courir ont quelque peu d'importance... Quoi qu'il en soit, la cristallerie anglaise, pour cette raison, a paru très-froide.

« La verrerie d'Allemagne, de Bohême, a toujours le privilége de séduire davantage, et, bien que nous n'ayons pas eu de nouveautés à citer, les visiteurs se pressaient en foule dans les salles de l'Autriche, où brillaient du plus vif éclat de magnifiques spécimens de l'industrie verrière de ces pays favorisés. L'aspect était d'autant plus brillant qu'on semble avoir oublié la fabrication de ces verres dépolis, auxquels on s'efforce de retirer le bénéfice de leur propriété caractéristique : la limpidité, la transparence et le poli. »

« Je terminerai cette note, dit M. Salvétat, en demandant si les fabriques françaises, qui, comme Saint-Louis, Baccarat, Lyon, ont fait défaut, se sont trouvées bien inspirées en désertant une lutte où des succès leur étaient assurés. » (*Annales du Conservatoire*, tome III.)

Les exposants français n'ont pas redouté la lutte avec leurs rivaux en 1867, et les cristalleries et les verreries nationales ont dignement soutenu la réputation de nos fabriques ; les produits des usines de Saint-Gobain, de Montluçon et des grandes cristalleries de Saint-Louis (Moselle), de Baccarat (Meurthe), de Clichy, de Lyon, etc., ont attiré au Champ de Mars les curieux, les amateurs du beau et les connaisseurs.

On sait que sous Louis XIV de grandes verreries s'établirent en France par les soins de Colbert, qui déroba ainsi aux Vénitiens le monopole de la fabrication des glaces soufflées. En 1665, à Tourville, près Cherbourg, s'établit la première manufacture de glaces en France ; elle cessa en 1808. Ce fut en 1688 qu'Abraham Thévart imagina de couler les glaces ; son établissement, construit d'abord à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paris, fut transféré peu de temps après à Saint-Gobain, près Lafère : c'est encore aujourd'hui la manufacture la plus importante de l'Europe.

La Belgique, la Bohême, l'Angleterre, l'Italie, ont exposé, en 1867, des produits d'une grande beauté ; mais nos fabricants n'ont pas été vaincus dans la lutte pacifique dont l'arène a été le Champ de Mars, transformé en palais de l'industrie universelle.

II. — Propriétés et fabrications des verres et cristaux.

Propriétés. — On recherche dans le verre, comme qualités essentielles, la transparence, la limpidité et l'*incolorité*. Pour les obtenir, il faut employer des matières premières extrêmement pures. Un excès de potasse ou de soude le colore ; le fer et le maganèse le colorent fortement ; si le minium renferme un peu d'oxyde de cuivre, le cristal prend une teinte vert émeraude.

Les verres qui proviennent d'une bonne fabrication résistent aux acides (sauf à l'acide fluorhydrique), aux dissolutions alcalines, à l'eau bouillante et à l'eau froide. Cependant l'eau bouillante exerce une action sur les matras des laboratoires ; le verre en poudre est facilement attaqué par l'eau chaude. Les verres qui sont attaqués par l'eau sont, à plus forte raison, attaqués par les acides. Les objets fabriqués en cristal sont attaqués par les dissolutions fortement alcalines.

Le verre est parfaitement élastique entre certaines limites, et en général très-sonore ; il est très-dur, fait feu sous le briquet, et ne se laisse que très-difficilement rayer par une pointe d'acier. Mais le verre plombeux, au contraire, a très-peu de dureté ; il est d'autant plus tendre qu'il contient plus de plomb.

Tous les verres sont plus ou moins fusibles ; ramollis par l'action de la chaleur, ils s'étirent en fils et se travaillent avec la plus grande facilité. Leur fusibilité dépend de leur composition : les verres à base de soude sont plus fusibles et plus durs que ceux à base de potasse.

Parfois le verre, maintenu longtemps à une température élevée, change d'état ; il perd sa transparence, il devient opaque. Il subit cette modification moléculaire tout en conservant sa forme primitive. Ce curieux phénomène est connu sous le nom de dévitrification : le verre dévitrifié est désigné sous le nom de

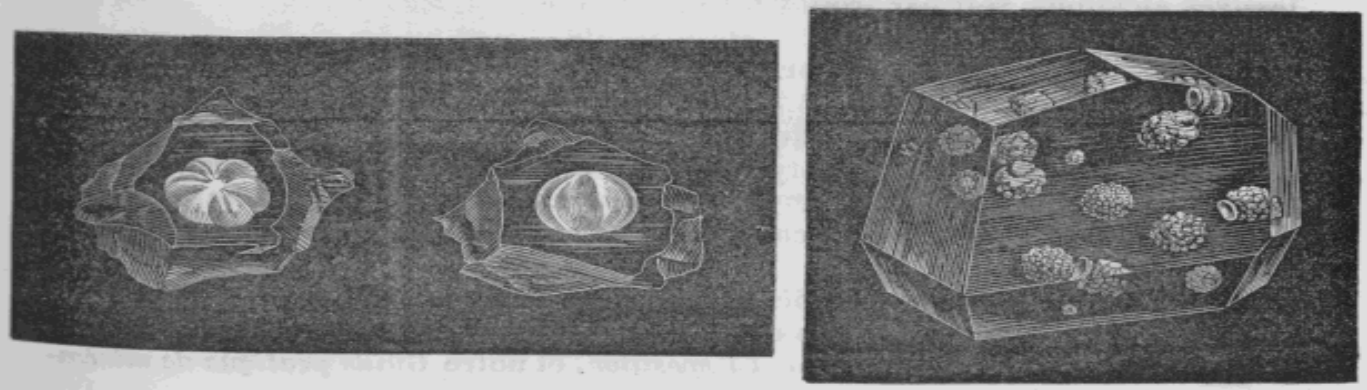


Fig. 1.

porcelaine de Réaumur. Le verre à vitre et le verre à bouteille sont d'une dévitrification très-facile. On trouve très-souvent, dans le fond des creusets, des portions de verre dévitrifié, tantôt opaques comme de la porcelaine, tantôt sous la forme de mamelons opaques, emprisonnés dans la masse vitreuse, comme le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

montre la figure 1 de la page précédente, tantôt sous forme de prismes isolés ou réunis en étoiles.

Le verre chaud, soumis à un brusque refroidissement, éclate immédiatement. Tous les objets en verre, par la nature d'un travail très-rapide, sont soumis à un refroidissement brusque par l'air ambiant; aussi sont-ils fragiles et cassants. Mais on corrige ce défaut par le recuit que l'on fait subir à toutes les pièces fabriquées avant de les livrer à la vente.



Fig. 2.

Les larmes bataviques, gouttes de verre terminées en pointe déliée, produites en laissant tomber du verre très-liquide dans un vase plein d'eau froide, présentent au plus haut degré la fragilité produite par la trempe. Lorsqu'on casse la fine queue de la larme, toute la masse éclate avec bruit et se réduit en poussière (fig. 2).

On a utilisé dans l'industrie, pour graver sur verre, l'action qu'exerce l'acide fluorhydrique sur la silice et les silicates.

Le verre est enduit d'un vernis appliqué à chaud à l'aide d'un pinceau. Le dessin est tracé au burin sur le verre verni; ensuite on fait mordre l'acide liquide pendant un temps plus ou moins long. On lave à l'eau, puis à l'essence ou à l'alcool, pour enlever le vernis.

M. Gugnon, de Metz, emploie un procédé plus rapide: il applique sur le verre, enduit d'une légère couche d'essence de térébenthine, un dessin découpé à jour, en métal ou sur papier, une dentelle, etc. Il tamise à sa surface une poudre fine de bitume de Judée et de mastic en larmes : le patron est enlevé avec soin. Ensuite on chauffe légèrement le verre, de manière à fondre la poudre répandue dans les jours du dessin : on fait mordre l'acide pendant 30 à 40 minutes; il n'attaque que le verre sur lequel adhéraient les parties pleines du dessin.

La gravure sur verre, par voie chimique, est pratiquée aujourd'hui, sur une grande échelle, dans les cristalleries de Saint-Louis, de Baccarat, etc.

M. L. Kessler a apporté de notables perfectionnements à la gravure chimique. On imprime à l'encre grasse un dessin sur une feuille de papier mince; ensuite on applique cette feuille mouillée sur le verre à graver. L'encre adhère au verre, et le papier se détache facilement. La pièce est alors plongée dans le bain d'acide fluorhydrique, qui n'attaque que les parties de verre non couvertes d'encre. Après la morsure, on enlève la réserve, soit avec des essences ou des lessives alcalines, soit par frottage.

Fabrication. — Les matières premières qui entrent dans la fabrication du verre et du cristal sont : 1° la silice à l'état de sable plus ou moins pur, selon le verre que l'on veut obtenir, ou du quartz hyalin, étonné et pulvérisé; 2° la potasse (carbonate potassique) aussi pure que possible; 3° la soude, sous forme de carbonate ou à l'état de sulfate; 4° la chaux est employée tantôt à l'état d'hydrate calcique, tantôt sous forme de carbonate; 5° enfin le plomb entre dans le cristal à l'état de minium.

Ces dernières matières premières, qui, par leur combinaison, produisent le verre, sont fondues dans de grands creusets en argile réfractaire (voir *Études*, t. III, notre article *Minéralogie à l'Exposition*, et notre *Guide pratique de minéralogie appliquée*).

La forme et la dimension des creusets des verriers sont très-variables; ils sont ronds, ovales, rectangulaires, comme le montrent A, B, CC', D, de la figure 3, page suivante.

Quand les fours sont chauffés à la houille, les pots à cristal sont couverts, et présentent la forme d'une cornue à col très-court : leur hauteur varie de 0m.5[illegible]

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 1 mètre. Les parois latérales des creusets cuits ont de 5 à 7 centimètres d'épaisseur; le fond, 10 centimètres. Les grands creusets contiennent ordinairement de 5 à 600 kilogrammes de verre fondu.

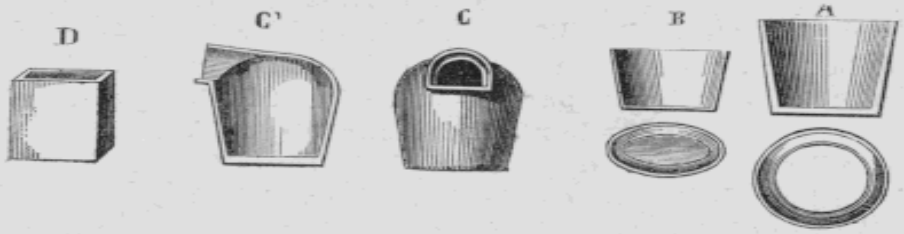


Fig. 3.

Fours à cuisson. — Les fours à cuisson sont construits avec des briques réfractaires, fabriquées avec les mêmes argiles que les creusets. La flamme circule entre les pots à verre; la voûte du four est surbaissée de manière à utiliser la chaleur réfléchie. L'air arrive par des galeries souterraines; chaque creuset se trouve en communication avec un ouvreau, pratiqué dans la paroi du four : cette ouverture sert à cueillir le verre et à introduire la composition qui doit le produire.

A l'Exposition universelle de Londres, en 1862, MM. Siemens ont exposé des plans de fours de verrerie que les fabricants du continent ont adoptés pour le chauffage des creusets.

Les fours à régénérateur de MM. Siemens ont pour but de ne laisser arriver, sur la banquette ou sur la sole, qu'un combustible gazeux, préalablement chauffé par la chaleur même qu'emportent les produits de la combustion. Les figures 4 et 5 montrent les dispositions d'un four Siemens, dont le combustible réel est l'oxyde de carbone.

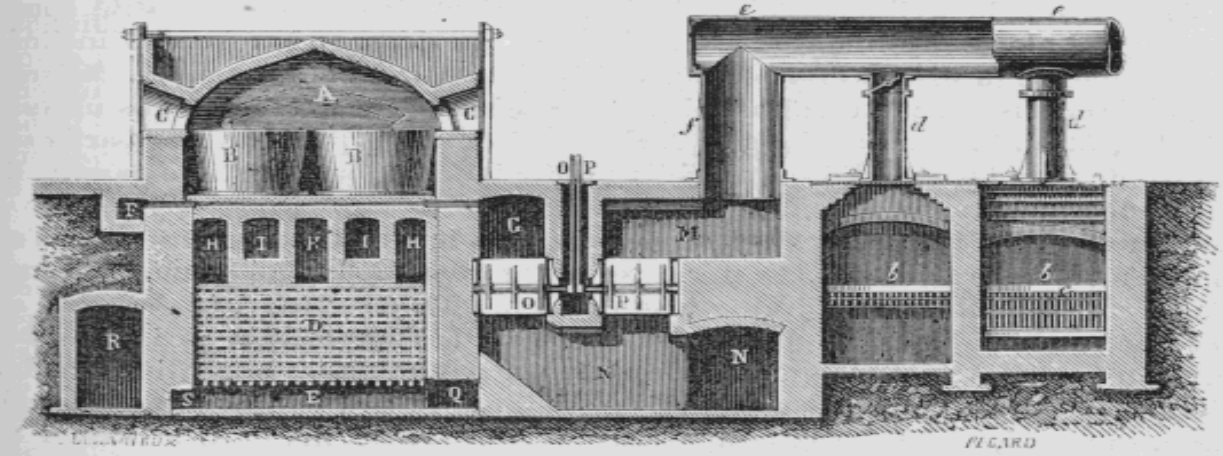


Fig. 4.

La figure 4 représente une coupe transversale faisant comprendre le fourneau, les régénérateurs et les appareils producteurs du gaz; la figure 5 représente une coupe longitudinale de l'appareil producteur du gaz.

A, four sur la banquette duquel sont les pots de verrerie B; C, ouvreaux; régénérateurs, formés d'une chambre en briques réfractaires, près de laquelle est une grille E, portant des briques réfractaires entassées, ou toute autre matière incombustible laissant entre elle des interstices.

F, conduit qui fait communiquer la voûte des régénérateurs avec l'air extérieur et avec un canal G se rendant aux régénérateurs H, I, J, K', carneaux qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

font communiquer la partie supérieure des quatre régénérateurs avec le four A; L^1, L^2, L^3, L^4, ouvertures des régénérateurs placés au-dessous des grilles faisant communiquer les régénérateurs D^1, D^4, alternativement avec le carneau M venant des producteurs du gaz, et avec le carneau N conduisant à la cheminée, tandis que les régénérateurs D^2, D^3, communiquent alternativement avec la carneau G, qui débouche dans l'atmosphère et avec le carneau N. Ces communications alternantes sont réglées par les valves G et P. Le gaz combustible traverse les carneaux et entre dans le régénérateur D^1 par l'ouverture Q^1; en même temps l'air passe du carneau G dans les régénérateurs D^2 par l'ouverture Q^2. Les deux courants sont conduits par les carneaux J, K, à l'intérieur du four; ils brûlent avec une flamme intense, qui se répand autour des pots de verrerie et les échauffe. Les produits chauds de la combustion descendent par les carneaux H et I dans les régénérateurs D^3 et D^4, sortent un peu refroidis par les ouvertures Q^3 et Q^4; de là, ils sont dirigés dans le conduit N et puis dans la cheminée.

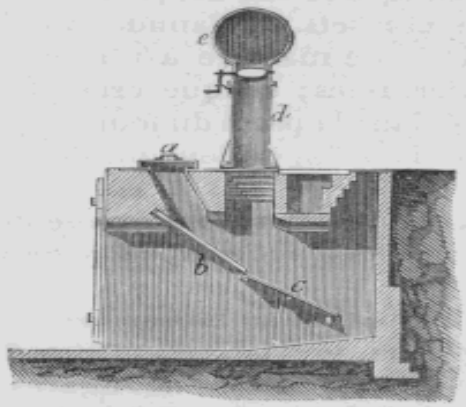


Fig. 5.

Les gaz combustibles se produisent par la combustion incomplète du charbon dans l'appareil représenté par la figure 5. La matière combustible, houille, tourbe, etc., est introduite par la trémie *a*, fermée par un couvercle; elle tombe sur un plan incliné d'environ 45°, bâti en terre réfractaire; puis enfin sur une grille *c* inclinée de 30° à l'horizon. Au-dessus de cette grille, à une hauteur convenable, on dispose une voûte en briques réfractaires. Cette voûte, par suite de la combustion qui s'opère sur la grille, s'échauffe fortement et émet une quantité considérable de chaleur rayonnante sur le charbon qui descend sur le plan incliné: alors commence sa distillation et la volatilisation des produits gazeux. Mélangé avec les produits gazeux combustibles, l'oxyde de carbone passe dans un tube vertical *d*, et enfin dans un long cylindre horizontal *e*, qui réunit la partie supérieure de tous les tubes des appareils producteurs du combustible gazeux. Ce tuyau redescend en *f* et se réunit au carneau *m*. »

Le four Siemens est un des perfectionnements les plus importants dont s'est enrichi l'art du verrier dans ces derniers temps; il réalise une économie consirable de combustible, qu'on évalue jusqu'à 40 p. 100.

Les phénomènes produits pendant la fusion de la composition varient avec la nature du verre. A mesure que la température se prolonge, la matière fondue devient moins bulleuse; elle s'éclaircit et s'affine. Quand l'affinage paraît suffisamment avancé, on laisse la température s'abaisser de manière à donner au verre une consistance pâteuse qui permet de le travailler. La fonte et l'affinage durent 12 à 24 heures. On fait alors le travail.

Verres à vitre. — La fabrication des verres à vitre est très-importante dans le Nord et dans le bassin de la Loire, à proximité des exploitations de houille.

Les matières premières qui entrent dans la composition sont :

Sable	100
Sulfate sodique	30
Calcaire	30
Coke pulvérisé	5
Bioxyde de manganèse	5

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On ajoute au mélange une quantité variable de groisil ou débris de verre.

Le bioxyde de manganèse, dit savon des verriers, a pour objet de corriger la teinte verdâtre que présentent ordinairement les verres à base de soude, coloration due au silicate d'oxyde ferreux, qui, en présence du manganèse, est suroxydé, et passe à l'état de silicate d'oxyde ferrique dont la coloration jaune est moins intense.

Chaque pot reçoit 600 kilogrammes de composition ; pour fabriquer 100 kilogrammes de verre, on consomme 600 kilogrammes de houille.

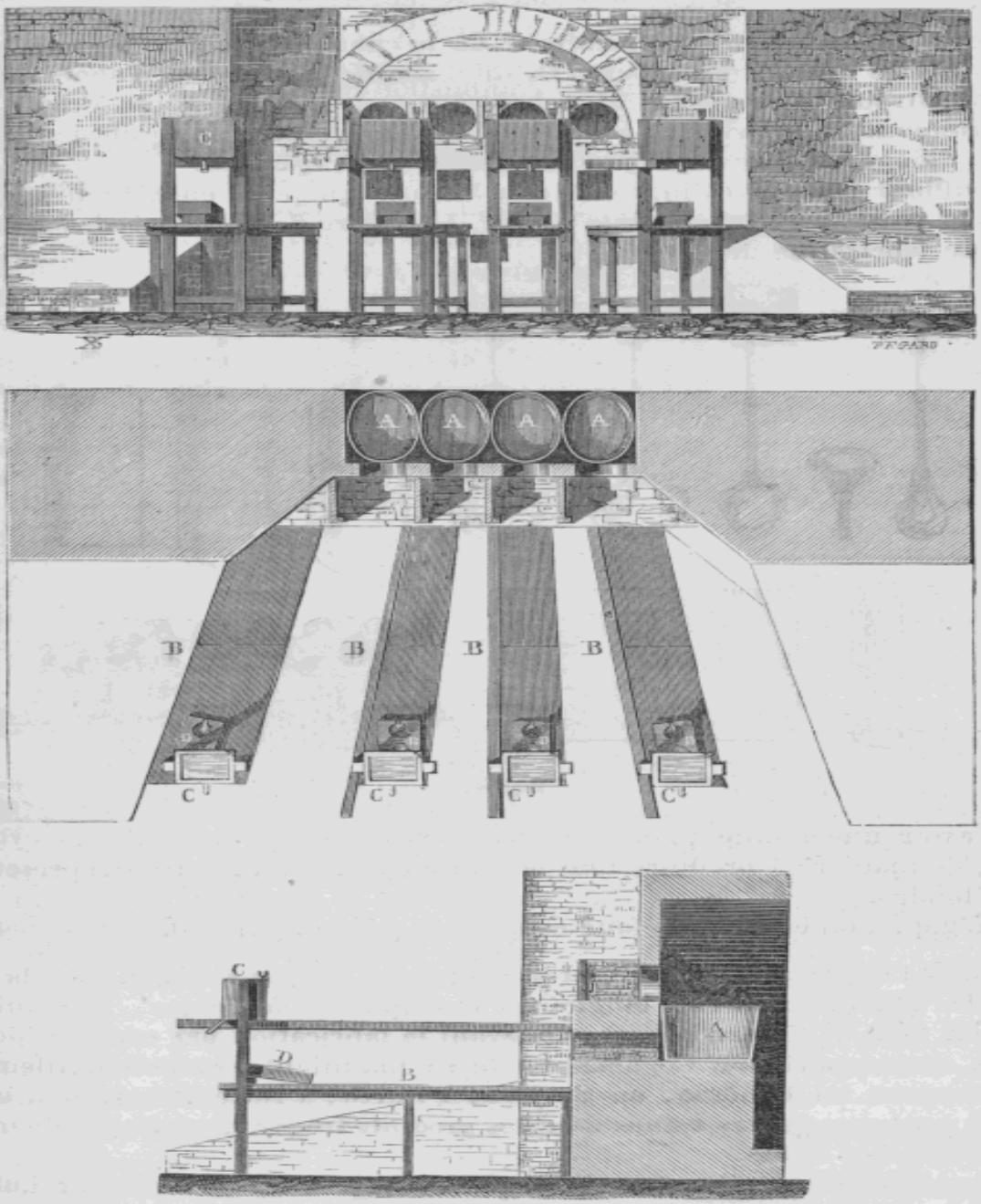


Fig 6

Devant chaque creuset se trouve un plancher en bois B (fig. 6), élevé de 2m.50

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 3 mètres au-dessus du sol de la halle. Chaque place est desservie par un souffleur et un aide, ou gamin.

Le verre est soufflé au moyen d'un cylindre creux en fer, renflé, à une extrémité, avec une enveloppe en bois placée près de l'autre extrémité. Ce cylindre, appelé canne (fig. 7), a une longueur variable de 1 à 3 mètres.



Fig. 7.

Le verre fondu est pris à l'extrémité de la canne par le gamin ; puis la pièce passe entre les mains du souffleur. Celui-ci souffle légèrement d'abord, en tirant la masse vitreuse de manière à lui donner la forme d'une poire. Puis il souffle plus fortement en imprimant à la masse un mouvement de va-et-vient, de manière à allonger la pièce, qui prend la forme d'un cylindre.

Le souffleur porte le cylindre obtenu à l'ouvreau pour en ramollir le bout ; puis il le perce avec une pointe de fer. La figure 8 représente les différentes phases de fabrication des manchons.

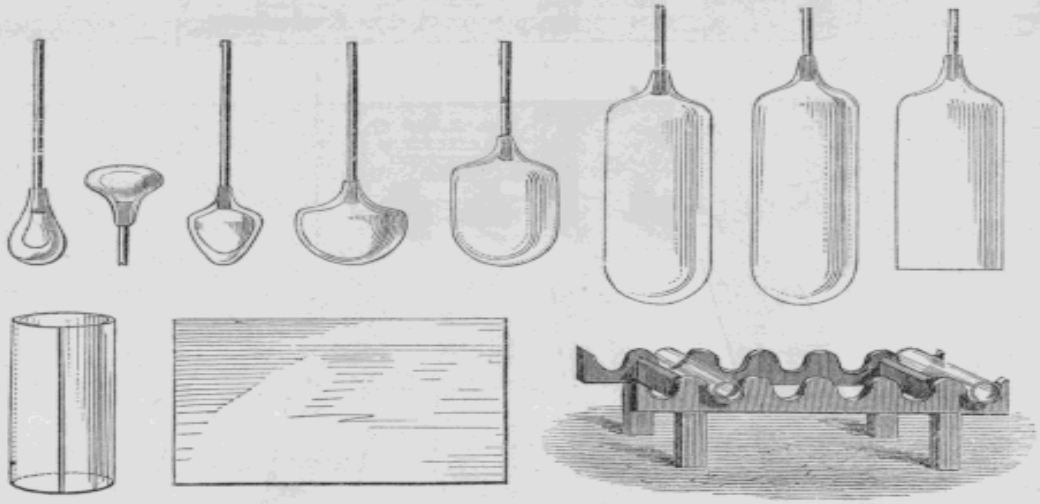


Fig. 8.

Pour avoir une feuille plane de verre à vitre, il faut ramollir les cylindres fendus, de manière à produire une feuille de verre. La figure 9 représente un four à étendre.

En Belgique, on emploie le four représenté par la figure 10.

Glaces. — Les glaces se fabriquent par soufflage ou par coulage. Mais la fabrication des glaces soufflées, longtemps monopolisée à Venise, introduite en France en 1665, a disparu peu à peu devant la fabrication par coulage, dont les produits sont supérieurs. Cependant elle se maintient encore en Allemagne, principalement en Bohême, en Bavière, à Furth, à Nuremberg, etc., où elle alimente quelques petites usines dont les produits trouvent un écoulement dans la consommation locale.

Le procédé de fabrication des glaces par coulage a été inventé par Lucas de Nehou, et exploité, par privilége, par Abraham Thévart.

Les éléments essentiels du verre à glace sont : la silice, la chaux et la soude ; le verre de Saint-Gobain est actuellement composé de :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Silice.	73
Chaux.	15.5
Soude	11.5
	100.0

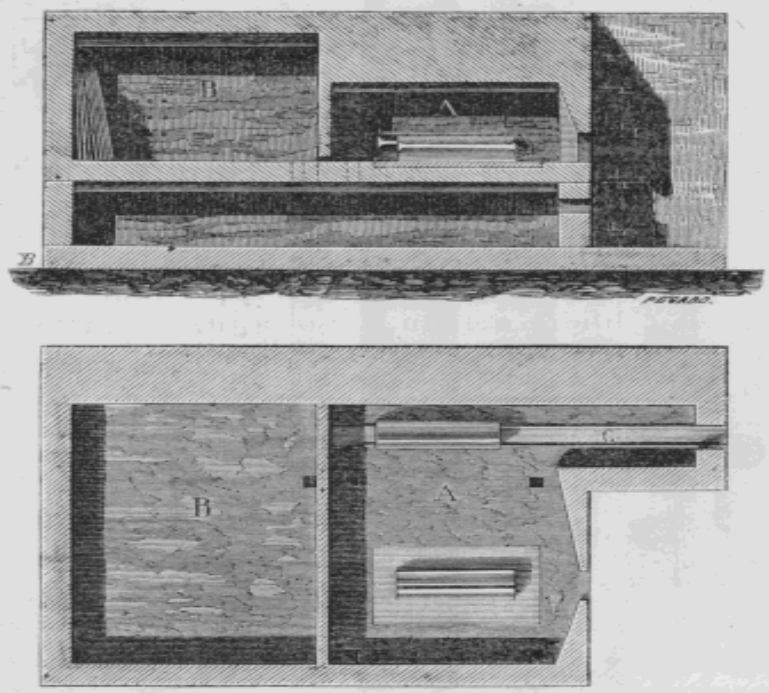


Fig. 9.

Le sable doit être aussi blanc que possible et exempt de composés ferrugineux. En France, on emploie les sables de Fontainebleau. Le sulfate de soude est raf-

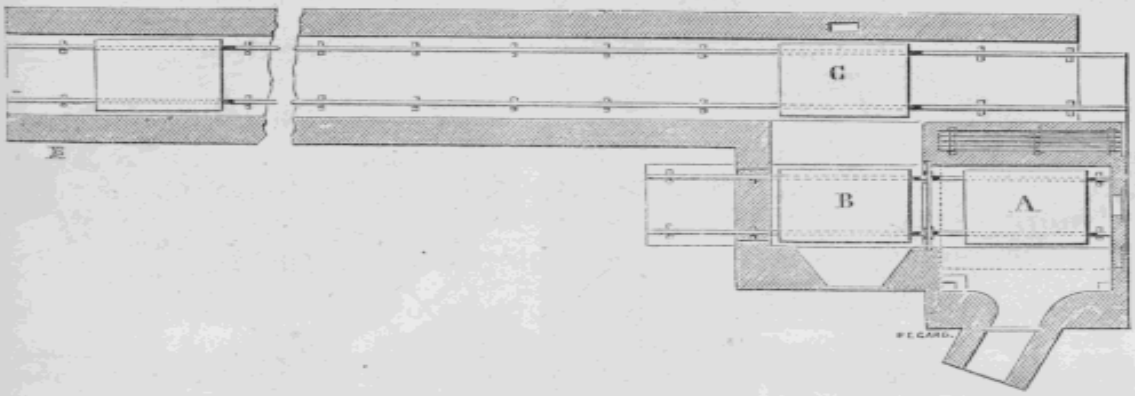


Fig. 10.

finé par cristallisation; le calcaire doit aussi être pur de tout composé ferrugineux.

La halle est un vaste bâtiment contenant les fours de fusion, l'outillage pour le coulage et les carcaisses, ou fours à recuire les glaces.

Le dessin ci-contre (fig. 11, page 266) montre les dispositions d'un four belge, avec l'outillage du coulage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La figure 11 représente un four de fusion elliptique à 12 cuvettes ; la grille, dont la largeur est de 0m.60, occupe toute la longueur du four, soit 5m.30

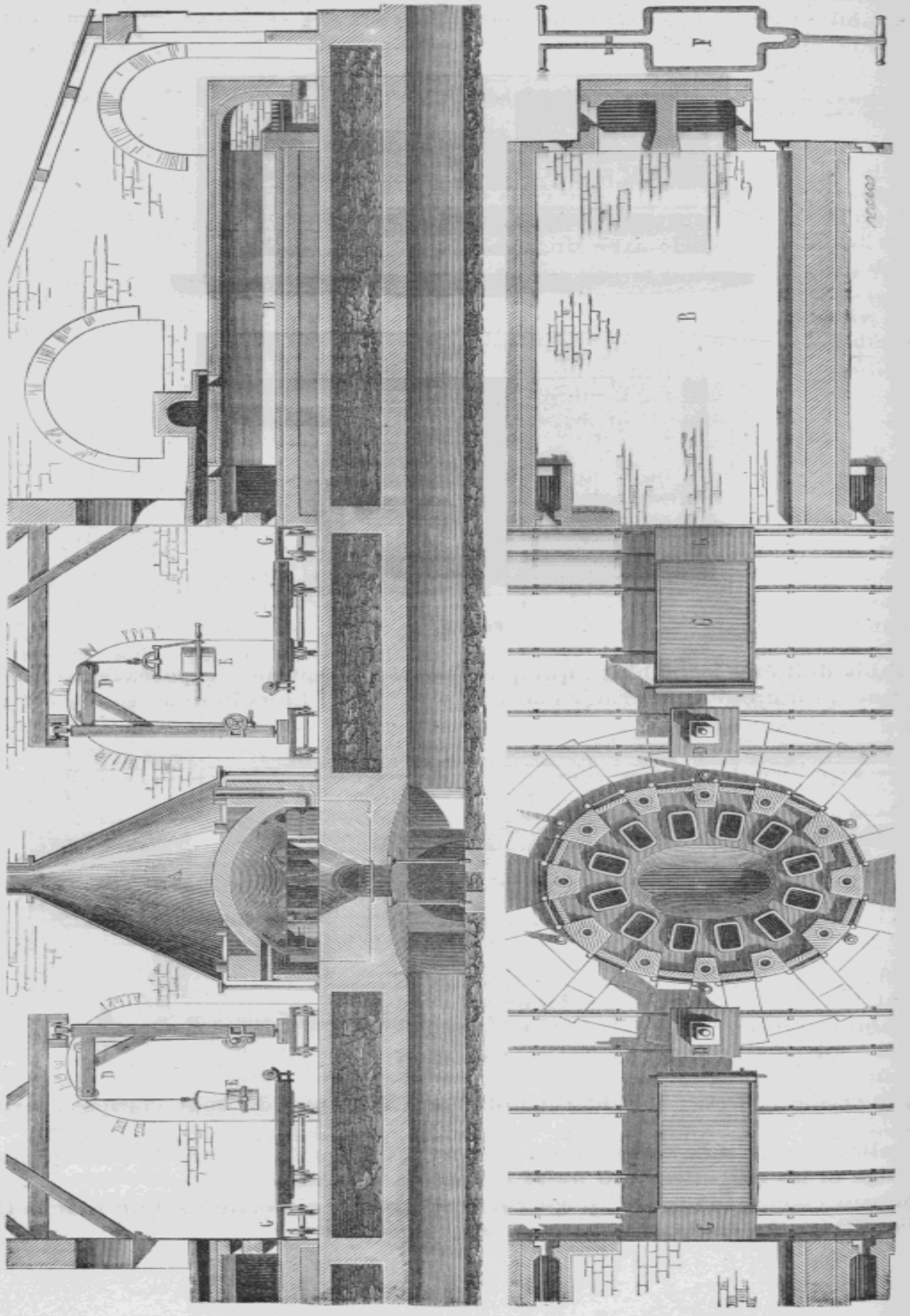


Fig. 11.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

B, carcaisses ; C, table à couler; D, grue mobile destinée à manœuvrer les cuvettes; F, tenailles pour saisir les cuvettes; E, table en fonte sur laquelle le verre va s'étaler.

La fusion des matières, l'affinage, la braise, durent 24 heures. La consommation est de 5000 à 7000 kilogrammes de houille par coulée; un four à douze cuvettes peut fournir 80 à 100 mètres superficiels de glaces de 10 millimètres d'épaisseur, ou environ 2000 à 2500 kilogrammes.

La coulée des glaces est une opération difficile; elle exige beaucoup d'ensemble et de promptitude. En moins d'une heure, il faut couler douze glaces, ayant chacune, en moyenne, de 6 à 8 mètres superficiels, les enfourner dans les carcaisses et rentrer les cuvettes dans le four.

Des ouvriers enlèvent vivement la tuile d'ouvreau, qui masque le creuset; la cuvette est aussitôt saisie avec une grande tenaille, montée sur des roues; on la pose sur un petit chariot en fer qu'on traîne au pied de la grue. On écrème le verre pour enlever toutes les saletés qui se trouvent à sa surface. Au-dessous de la cuvette suspendue se trouve la table en fonte C, sur laquelle le verre va s'étaler. Elle est chaude et bien propre; elle porte des tringles mobiles qui doivent donner à la glace son épaisseur et sa largeur. Sur ces tringles repose le rouleau en fonte servant à laminer le verre. La carcaisse se trouve au bout de la table, au même niveau et à une température convenable pour recevoir les glaces qu'on va couler.

Ces préparatifs étant faits, la cuvette est renversée, le verre s'écoule le long du rouleau, qui est immédiatement mis en jeu; guidé sur les tringles, il parcourt la table d'une extrémité à l'autre en étendant uniformément le verre. La glace étant coulée, on la pousse, encore rouge et à peine rigide, dans la carcaisse.

Le polissage des glaces comprend deux opérations : le dégrossissage et le douci. Le dégrossissage s'exécute en frottant deux glaces l'une contre l'autre, avec l'intermédiaire d'une matière siliceuse en poudre; le douci des glaces polies, en les faisant frotter par une rangée de petits plateaux de calcaire, garnis sur la partie frottante d'un feutre enduit de colcothar finement pulvérisé.

Les glaces polies, destinées à servir de miroir, sont étamées avec un amalgame d'étain, ou en appliquant par derrière une pellicule d'argent (procédé

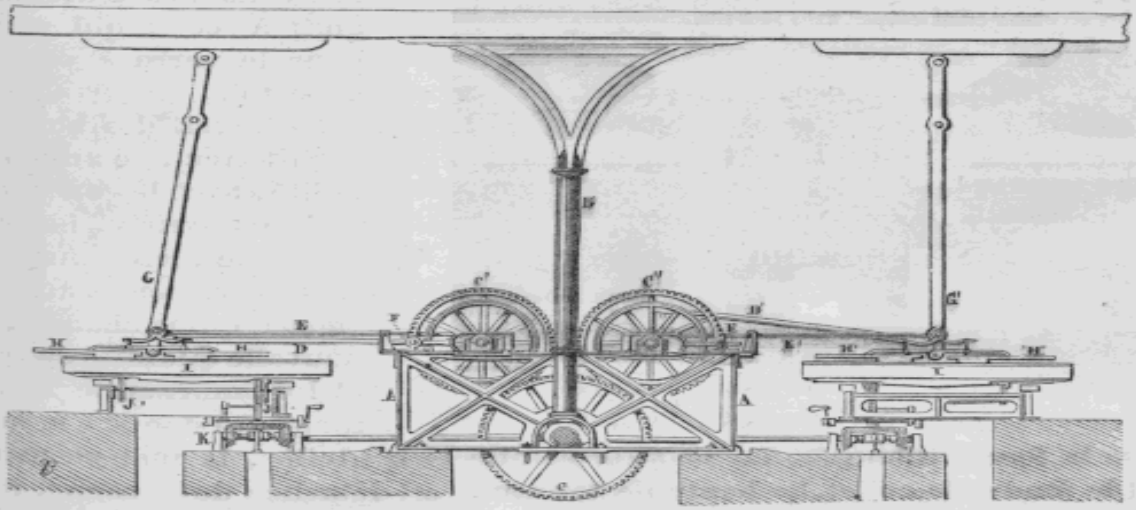


Fig. 12.

Drayton ou de M. Petitjean). La figure 12 ci-dessus représente une machine à polir les glaces, construite à Seraing (Belgique).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A, bâtis.
B, colonne.
C, roue d'engrenage motrice.
C', C'', roue de transmission du mouvement des polissoirs.
D, D', bielles.
E, E', guides des polissoirs.
F, F, embrayages des roues C', C'', servant à arrêter le mouvement de l'une des tables.
G, G, balanciers des polissoirs.
H, H', polissoirs en bois.
I, I, tables de pierre supportées par un cadran en fonte et douées d'un mouvement perpendiculaire à celui des polissoirs.
J, galets en fonte sur lesquels glisse la table.
K, engrenages armés d'un manchon d'embrayage, mis en mouvement par un levier manœuvré à la main et donnant le mouvement de translation à la table. L'engrenage reçoit le sien de la roue motrice C.

Verre à bouteilles. — Pour fabriquer le verre à bouteilles, on emploie des matières premières de peu de valeur; généralement, on utilise les sables du pays. La soude et la potasse sont même, en grande partie, remplacées par la chaux, la magnésie, l'alumine, etc. A Rive-de-Gier, à Givors, on emploie :

Sable du Rhône.	100
Chaux éteinte.	24
Sulfate de soude	8

Les creusets reçoivent de 600 à 1000 kilogrammes de matière frittée, dont le rendement utile est de 80 p. 100 de verre fondu. La fonte dure de 12 à 13 heures; le travail, 14 heures, en y comprenant 2 heures de repos. On fait par heure 75 à 80 bouteilles ordinaires, ou 50 bouteilles de champagne. Le travail, la fonte et le recuit de 100 bouteilles ordinaires consomment de 60 à 75 kilogrammes de houille. On fait 245 à 250 fontes par an et par four contenant 8 creusets.

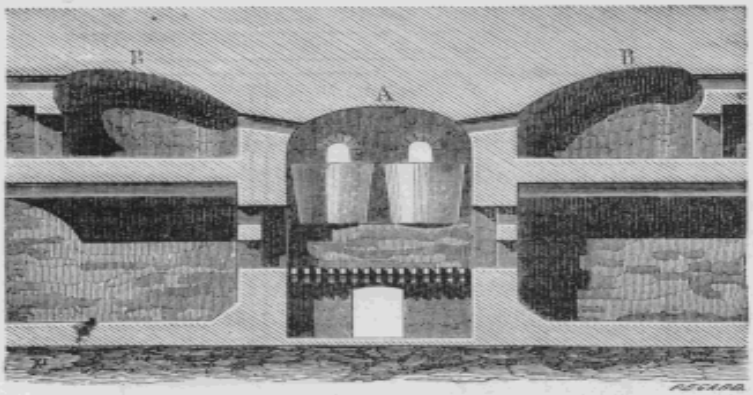


Fig. 13

La fusion des matières se fait dans des fours analogues à ceux qui servent pour le verre à vitre (figure 13).

Le travail des bouteilles se fait avec une grande rapidité, avec le concours de quatre ouvriers. Le *gamin* cueille le verre dans le pot; il passe sa canne au *grand garçon*, qui la charge d'une nouvelle quantité de verre, et lui imprime le mouvement qui donne à la masse vitreuse la forme allongée. Le *souffleur* souffle la bouteille, la met au moule, en fait le fond et le collet. La bouteille terminée est détachée de la canne, reçue par le *porteur* sur une fourche en fer et introduite dans le four à recuire.

Verre de Bohême. — Le verre de Bohême rivalise avec le cristal pour le mérite de sa fabrication, et avec la gobeleterie commune pour son bon marché; sa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teinte est habituellement jaunâtre; il reçoit par la taille un très-beau poli. Les matières premières qui entrent dans sa composition sont :

Quartz pulvérisé	100	100
Chaux éteinte	13 à 15	17
Carbonate de potasse	28 à 32	32
Oxyde de manganèse		1
Arsenic blanc		3

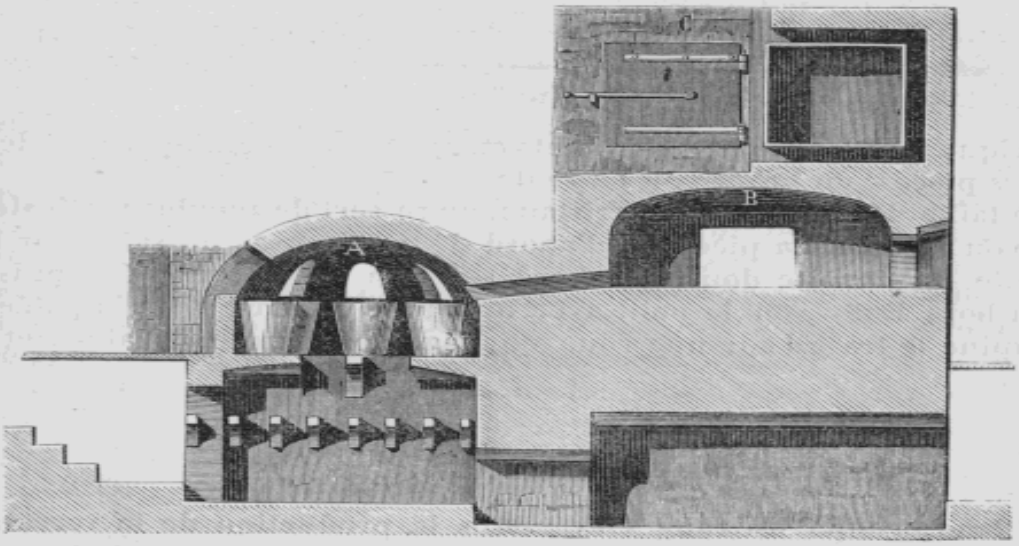


Fig. 14.

Les fours de fusion A (fig. 14) sont de petite dimension; leur voûte est ordinairement d'une seule pièce; ils sont elliptiques, et contiennent 7 à 8 pots. La flamme, après avoir circulé librement autour des creusets, se dégage dans un second four rectangulaire B, destiné à la cuisson des pièces, à cuire la chaux ou à chauffer le quartz avant de l'étonner.

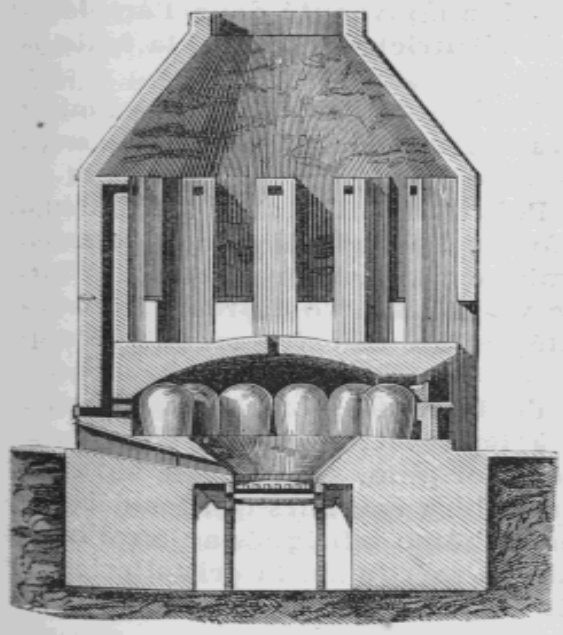


Fig. 15.

Cristal. — On emploie ordinairement pour produire le cristal :

Sable très-blanc	300
Minium	200
Potasse	100
Groisil	300 à 500

Pour la fusion de ces matières premières, si le combustible employé est du bois, les pots sont découverts, ronds ou elliptiques; pour le cristal à la houille, les pots sont couverts et ronds.

La figure 15 représente un four de fusion de cristal à la houille, à pots couverts.

Le travail du cristal est plus facile que celui du verre de Bohême, tant à cause

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de sa plus grande fusibilité que de sa résistance à la dévitrification. A, B, C, D, E (fig. 16), représentent les différentes phases de la façon d'un pot à eau.

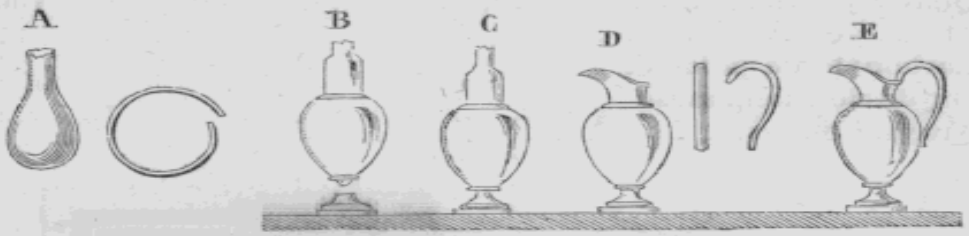


Fig. 16.

On fabrique un grand nombre d'objets en cristal, par moulage, dans des moules à plusieurs pièces, en bronze ou en fonte.

Pour la taille des verres et des cristaux, on se sert de meules verticales en fer, en pierre ou en bois. La pièce est d'abord dégrossie avec du sable sur la meule en fer; elle est ensuite doucie d'abord sur une meule en grès, puis sur une meule en bois. Enfin, on la polit avec une roue en bois et de la potée d'étain, et on termine le travail sur une roue en liége, ou garnie de laine, et avec du colcothar.

III. — Exposants étrangers.

La Bohême occupe un rang élevé dans la production de la verrerie; aussi s'est-elle fait remarquer à toutes les expositions. En 1855, elle était représentée par trois fabriques principales : celle du comte de Harrach, à Neuwelt; celle de Meyrs, à Adolphshütte, et celle d'Hegenbarth, à Meisterodorf. Les verres colorés et le craquelé surtout se sont fait admirer.

En 1862, à l'Exposition de Londres, la verrerie de Bohême soutint dignement sa réputation; bien qu'elle n'ait introduit aucune nouveauté dans l'art délicat du verrier, les objets exposés dans les salles de l'Autriche attiraient la foule par leur beauté, leur éclat et leur limpidité.

En 1867, la Bohême n'a rien perdu de sa vieille réputation; elle nous a encore montré sa supériorité dans la fabrication des verres colorés dans la masse, et son habileté dans la gravure et la lustrerie.

La plus grande partie des verreries de la Bohême sont situées au milieu de grandes forêts de sapins qui alimentent les fours. Le bas prix du combustible est la cause première de la fabrication économique du verre; en outre, les forêts donnent de la potasse à très-bon marché. Le verrier trouve à proximité de son usine du quartz hyalin de très-bonne qualité, et un calcaire saccharoïde qui donne une excellente chaux.

Cependant les produits de la cristallerie de Bohême n'ont ni la grâce, ni l'élégance des produits similaires fabriqués à Baccarat; mais leurs formes gothiques leur donnent un cachet qui en révèle l'origine. Ce qui fait surtout le prix des cristaux de Bohême, ce sont les admirables couleurs qui les décorent.

Les amateurs prétendent que les verres de Bohême fabriqués aujourd'hui ne valent pas ceux d'autrefois; mais ce qui fait le mérite de la cristallerie allemande, c'est que le prix des objets fabriqués en permet l'accès aux petites fortunes.

La Prusse a exposé des verres à glace, des verres à vitre, des verres de couleur, des lustres, des cristaux, des objets d'art.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Arbenz, directeur de la manufacture de glaces de Stolberg, a exposé plusieurs glaces étamées et non étamées, des verres cannelés, quadrillés et colorés. Cette manufacture, qui appartient à la Société de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, fabrique exclusivement du verre à glace, et produit par an environ 500,000 pieds carrés de verre poli pour glaces, vitrines, fenêtres ordinaires. M. Heckert, de Berlin, a envoyé au Champ de Mars des lustres de cristal d'un travail remarquable et plusieurs objets d'ameublement, principalement des lampes, cheminées, tables à plaques, cassettes, coffrets, fleurs en verre ou en cristal. Les verres de couleur de M. Solms-Baruth sont d'un bel effet et d'une très-bonne fabrication. M. Schmitz a exposé une œuvre d'art fort remarquable : c'est le portrait de l'empereur Napoléon III, peint sur verre; enfin, l'Institut de peinture sur verre de Berlin, connu par les beaux vitraux qu'il a produits, a exposé une fenêtre de chœur, destinée à la chartreuse de Nuremberg.

La verrerie est une branche importante de l'industrie belge; elle s'exerce dans les arrondissements de Mons, de Namur, de Liége, et surtout de Charleroi. La production de la verrerie est évaluée à environ 20 millions de francs; les produits sont exportés sur la plupart des marchés d'Europe et d'Amérique.

Les verres à vitre fabriqués en Belgique sont de bonne qualité; ils sont généralement blancs et d'une bonne fabrication. Mais les cristaux, demi-cristaux et la gobeleterie occupent un rang plus distingué dans l'industrie verrière de la Belgique; l'établissement de Seraing, dans la province de Liége, est une usine importante, qui occupe à elle seule 1200 ouvriers.

La Belgique fabrique aussi des glaces; les deux manufactures importantes de ce pays sont l'usine de Sainte-Marie d'Oignies (Hainaut) et celle de Floreffe (Namur).

L'exposition belge n'a rien eu de bien remarquable; en la comparant aux beaux produits de Baccarat, de Saint-Louis, de Clichy, de Lyon, etc., son infériorité ressort dans la cristallerie de luxe, la lustrerie et la gobeleterie. Les verres à vitre (exposition collective des maîtres verriers du Hainaut et de MM. Fourevult-Frison, Froncart, Houtard, Jouest, etc.), incolores ou colorés, composaient une grande partie des objets exposés dans la classe 16.

La Société d'Herbatte et M. Vanderpoorters ont envoyé au Champ de Mars des cristaux pour gobeleterie et des objets d'art.

L'Italie a été en Europe le berceau de l'industrie du verrier. Les fameuses glaces de Venise sont connues de tout le monde. Le procédé de fabrication a été, jusqu'au quatorzième siècle, inconnu au reste de l'Europe. Actuellement, les glaces de Venise ont perdu de leur valeur, tandis que celles de Bohême et de France sont très-recherchées. Venise excelle encore aujourd'hui dans l'art de la verrerie : elle conserve, en quelque sorte, le monopole de la verroterie, de la fabrication des perles, des filigranes, de l'aventurine. La fabrique Salviati a exposé au Champ de Mars des verres historiés, des verres soufflés, des verres colorés, des miroirs encadrés de fleurs en verre fondu.

La verrerie de Murano (île voisine de Venise) et celle de Venise même comprend les classes des produits suivants : la vaisselle et les lames, les couteries ou perles ordinaires, les verres filigranés et l'aventurine.

Le musée communal de Murano-Venise a envoyé à l'Exposition de Paris une magnifique collection des produits anciens et modernes des verreries de Murano. Des glaces anciennes d'une grande valeur ont été exhibées; les amateurs ont pu comparer ces fameuses glaces de Venise avec les produits similaires de notre industrie nationale. Nous pouvons le dire hardiment : la comparaison ne nous a pas été défavorable.

La cristallerie italienne était représentée par MM. Rossi, qui a exposé un vase

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en cristal de Bohême, représentant quatre portraits de la famille royale d'Angleterre; Saroldi, Franzosini, Bucciolini : ce dernier a exposé un lustre en cristal, vieux style vénitien.

MM. Stiffoni, Tommasi, fabrique de Venise, émaux, perles, verres filés; MM. Franzosini, Luraghi, Marietti, Nardi, Sauesi, Gamuni, verrerie ordinaire, cloches, bouteilles.

Les vitraux italiens, autrefois si renommés, ont été faiblement représentés à l'Exposition de 1867; M. Francini a exposé un vitrail peint en émail, représentant la sainte Vierge; M. Moretti, une croisée en verre peint et émail, représentant le couronnement de Marie; la fabrique Salviati, des verres et émaux d'un bel effet et d'une très-bonne fabrication.

Les principales qualités du verre fabriqué dans la Grande-Bretagne sont du verre blanc, des glaces, du verre à vitre et des cristaux. Les principales verreries sont à Saint-Helen's, à Birmingham, à Sunderland. La gobeleterie de cristal se fabrique aussi à Londres; dans le voisinage de Newcastle se fait un commerce considérable de verre à bouteille. Le verre à dessins colorés ou peints se fabrique aussi à Londres, à Sunderland, Birmingham; les verres pour phares de M. Chance, de Birmingham, sont très-connus dans le monde scientifique.

La statistique de 1861 donne, pour le travail du verre dans le Royaume-Uni :

Angleterre et pays de Galles..	13,809 hommes	1237 femmes
Écosse	1,189 —	28 —
Irlande.....	231 —	31 —
Totaux.....	15,229 hommes	1296 femmes

En 1865, la production a augmenté, et le nombre des ouvriers s'est par conséquent accru. Mais la production n'a pas suffi à la consommation; car il a été importé, en 1865, de Belgique, de Hambourg et de France, 380 quintaux de verre ou cristal, représentant une valeur de 630 livres. La même année, le Royaume-Uni a exporté :

Cristal.....	99,314 quintaux, valant	302,105 livres
Verres à vitres.....	50,955 —	60,857 —
Bouteilles ordinaires ...	662,496 —	340,245 —
Glaces.....		71,387 —

Les matières premières employées pour la fabrication du verre sont toutes tirées du pays; mais dans quelques usines de cristal et de glaces, on emploie le sable de Fontainebleau.

En 1855, l'Angleterre n'a été que faiblement représentée dans l'industrie du verre; les pièces exposées par M. Daniells, de Stourbridge, méritent des éloges par la pureté et la limpidité du cristal. En 1862, à Londres même, la fabrique des glaces s'est abstenue; mais la cristallerie a figuré à l'Exposition avec succès.

La fabrication des cristaux est en progrès en Angleterre; tant que l'art de la vitrification s'exerce sur des objets sur lesquels domine l'élément industriel, la fabrication anglaise est remarquable.

La fabrication des cristaux moulés, des verres gravés, etc., a fait de notables progrès depuis 1862. Les formes des objets, même d'un usage général, sont plus gracieuses que par le passé. L'étude du dessin et l'influence de la concurrence française ont eu la plus grande part dans le perfectionnement du goût artistique des verriers anglais.

Le secteur anglais du Champ de Mars renfermait en 1867 : les vitraux de MM. Baillie, Claudet, Cottier, Hardman, Morris, etc.; les lustres et cristaux taillés, gravés, de MM. Chance, Deffriès, Dobson, Gardner, Greene, Millar.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Powell, Osler, Copeland, Phillips, etc.; les glaces de MM. Petre, March, etc.; les verres à vitres de MM. Chance, Hartley, etc.

Les produits de la cristallerie anglaise sont très-variés; les lustres de James Green, les candélabres en style grec de Dobson, la gobeleterie de table de Chance sont surtout remarquables. On a aussi admiré des verres et des carafes a gaufrures treillagées de James Green et les cristaux d'art de John Millar.

IV. — France.

La France occupe un rang distingué dans l'art de la verrerie; la fabrication de ses glaces et de ses cristaux ne redoute la concurrence d'aucune fabrique étrangère. La réputation que notre pays s'est acquise dans la fabrication de la verrerie, a été maintenue intacte à chacune des expositions précédentes. Baccarat, Saint-Louis, Clichy, Lyon, Saint-Gobain, etc., soutiennent dignement la réputation de la verrerie nationale.

Baccarat. — La verrerie de Baccarat a été fondée en 1766, sous le nom de verrerie Sainte-Anne, par monseigneur de Montmorency-Laval, évêque de Metz, en société avec MM. Renault et Léopold, afin d'assurer un écoulement aux produits des forêts considérables que l'évêché de Metz possédait dans la contrée de Baccarat. Elle a été arrêtée en 1814, par suite de l'invasion étrangère. En 1816, monseigneur d'Artigues, propriétaire de la cristallerie de Vonèche, acheta l'immeuble de la verrerie Sainte-Anne et y fonda une cristallerie sous le nom de Vonèche-Baccarat. En 1822, MM. Godard et Cie achetèrent l'établissement formé par M. d'Artigues; en 1842, la Société fut prorogée pour une durée de quarante ans, sous la dénomination de Compagnie des verreries et cristalleries de Baccarat.

Les récompenses publiques ont, depuis 1823, prouvé l'excellence des produits fabriqués à Baccarat : Exposition française de 1823, médaille d'or; Exposition de 1827, la médaille d'or a été confirmée.

A l'Exposition de 1834, Baccarat occupait 680 ouvriers produisant 1,500,000 fr.; en 1839, 900 ouvriers produisant 1,800,000 fr.; en 1844, 975 ouvriers produisant 2,000.000. Dans ces dernières Expositions, la médaille d'or a été maintenue à Baccarat. A l'occasion de l'Exposition de 1844, l'administrateur de la Compagnie fut nommé chevalier de la Légion d'honneur; en 1849, la même distinction fut accordée à M. Toussaint, directeur de la cristallerie de Baccarat. En 1855, Baccarat a obtenu la grande médaille d'honneur; le nombre des ouvriers était alors de 1,125, et la production annuelle de 3,600,000 fr.

L'Exposition de 1855 renfermait deux magnifiques candélabres de Baccarat, et un lustre, chef-d'œuvre d'élégance, de grâce et de bon goût.

En 1862, à l'Exposition de Londres, la cristallerie française a déserté la lutte; cependant elle était assurée du succès.

En 1867, les verreries et cristalleries de Baccarat, avec 1743 ouvriers, ont produit 3 millions de francs. Parmi les objets envoyés à l'Exposition de Paris, nous signalerons :

Une fontaine qui a 7m.50, en cristal, non compris le support, et dont la grande vasque a 3m.10 de diamètre; c'est la pièce capitale de l'exposition de la cristallerie.

Une paire de grands vases Médicis, richement ouvragés par la taille, mesurant 1m.60 de hauteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une garniture composée d'une grande coupe et d'une paire de vases gravés, à sujets sur doublé pourpre.

Ces pièces élégantes ont un grand mérite artistique; elles sont certainement le travail le plus remarquable et le plus considérable de gravure à la roue qui ait été exécuté.

Une table était occupée par une collection d'échantillons de services de formes variées, gravés ou taillés, en cristal ordinaire et de couleur. Des lustres et des candélabres à bougies ou à gaz figuraient en grand nombre dans l'exposition de Baccarat; enfin, on y remarquait une variété infinie d'objets dont la présence au Champ de Mars était motivée soit par le mérite de la forme, soit par celui de l'exécution.

Les procédés de fabrication employés à Baccarat réunissent tous les progrès que l'art du verrier a réalisés jusqu'à ce jour. Cette usine a pu conserver l'usage de la fabrication du cristal au bois avec tous ses avantages, en substituant la combustion du gaz de bois à l'emploi direct de ce combustible. Au mérite d'une flamme exempte de toute cause d'impureté, s'ajoute l'avantage d'une économie sensible de combustible, et en outre l'avantage de faire usage de bois de toutes essences.

A Baccarat, l'outillage des verriers, des tailleurs ou des graveurs se trouve dans un état de perfection étonnante. La gravure, par l'emploi de l'acide fluorhydrique, a fait de tels progrès, on est arrivé à des perfectionnements si étonnants, à une exécution si remarquable, à des prix de revient si bas, que l'usage des objets ainsi décorés est entré largement dans la consommation courante aussi bien que dans la vente des objets de luxe.

L'administration de Baccarat ne néglige rien pour améliorer, au physique comme au moral, le sort des ouvriers; la partie artistique n'est pas non plus négligée. Le soir, trois fois par semaine, il y a une école de dessin, qui est obligatoire pour les apprentis des ateliers de tailles riches, gravures et décors. Les jeunes gens des autres ateliers qui désirent se perfectionner dans l'art du dessin y sont aussi admis.

Saint-Louis. — C'est vers 1784 que le cristal fondu au bois et à pots découverts a été fabriqué dans la verrerie de Saint-Louis. En 1787, M. de Beaufort, directeur de cette usine, présentait à l'Académie des sciences différentes pièces en cristal à l'imitation du flint-glass des Anglais. Depuis cette époque, la cristallerie de Saint-Louis a suivi tous les progrès qu'a faits la fabrication du verre et du cristal; aujourd'hui elle est l'émule de Baccarat.

En 1855, la cristallerie de Saint-Louis, dans son expositon de cristaux destinés aux usages domestiques, cristaux d'ailleurs remarquables pour leur pureté, leur limpidité, le bon goût et l'art de la fabrication, nous a montré des vases imitant le cristal de Bohême.

En 1867, la manufacture de Saint-Louis a exposé de nombreux spécimens de sa fabrication, tels que cristaux blancs, unis et gravés, simples ou doublés, cristaux peints, lustrerie, cristaux colorés et décorés.

C'est à Saint-Louis que l'on doit la reproduction des verres triplés ou doublés dans lesquels l'émail blanc opaque joue un rôle important.

Clichy. — Lyon. — La cristallerie de Clichy, près Paris, fabrique du verre ordinaire, du cristal et des verres d'optique, dont les constructeurs opticiens apprécient les qualités. Les verres mousselines, les cristaux, les services de table, les cristaux colorés, les divers objets exposés au Champ de Mars montrent l'importance de la manufacture de Clichy.

La fabrique de Clichy, il y a quelques années, a substitué au plomb le zinc à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une partie de la silice, l'acide borique, spécialement pour les verres d'optique.

Mais le cristal obtenu avec le zinc est bien plus dur et moins fusible que le cristal plombeux; aussi il présente de plus grandes difficultés pour la taille et le moulage.

La cristallerie de Clichy fabrique des verres qui imitent les anciens verres de Venise. Mais nos artistes n'imitent pas servilement l'art du seizième siècle; les productions exposées montrent, au contraire, leur esprit d'initiative et leur génie créateur et original.

La cristallerie de Lyon fabrique principalement les cristaux demandés par le commerce; son cristal est d'une limpidité parfaite, bien fondu, franc de ton et d'une teinte constante. Les objets que la manufacture de Lyon a exposés mettent en relief ces qualités ainsi que le but et l'importance de cette cristallerie.

La cristallerie de Lyon a suivi tous les progrès qu'a faits la taille, le moulage et la gravure sur cristal; aujourd'hui elle fabrique aussi bien le cristal de luxe que celui de fabrication courante. Nous regrettons que cette manufacture n'ait pas répondu à notre demande de renseignements, car notre intention était de lui consacrer un espace important dans cette revue des usines qui fabriquent le verre.

Saint-Gobain. — La prospérité de la manufacture des glaces de Saint-Gobain n'a pas été interrompue depuis 1702, époque de la création de la Société Antoine Dagincourt et Cie. Néanmoins, pendant cinquante ans, les produits laissaient encore beaucoup à désirer. En 1756, Pierre Deslandes, directeur de Saint-Gobain introduisit de notables perfectionnements dans la fabrication des glaces par coulage.

Au commencement de ce siècle, la fabrication des glaces coulées fut aussi établie sur une vaste échelle à Chauny, près Saint-Gobain.

La Société de Saint-Gobain a conservé longtemps le monopole de la fabrication des glaces en France; mais, à diverses époques, des compagnies rivales lui ont fait une concurrence sérieuse; pendant vingt-cinq ans les glaces de Cirey ont fait concurrence à celles de Saint-Gobain. Mais, en 1830, les deux compagnies adoptèrent un tarif commun, elles ont ensuite fusionné; enfin la glacerie de Montluçon a été vendue à la compagnie de Saint-Gobain, qui la possède depuis le 1er septembre dernier (1868) et continue à l'exploiter.

En 1860, la production des glaces, en France, en Angleterre et Belgique était de :

	France. 5 fabriques.	Angleterre. 6 fabriques.	Belgique. 2 fabriques.
Saint-Gobain et Cirey	200,000 mètres superficiels.	330,000.	110,000.
Montluçon	50,000 «		
Jeumont et Recquignies	55,000 «		

En France, la valeur de la production est de 10 à 12 millions; la fabrication des glaces dispose d'un capital de 50 à 60 millions. On fait actuellement en France 300,000 mètres de glaces, plus qu'il n'en faut pour la consommation intérieure (200,000 mètres) et l'exportation (50,000 mètres). Cette production est la cause de la baisse considérable qu'a éprouvée cette marchandise. Il faut dire aussi que la consommation a été augmentée dans une proportion notable depuis que les prix ont été abaissés. La consommation des glaces continuera à suivre une progression croissante, car le goût de luxe se répand de plus en plus; en outre, on fait aujourd'hui un fréquent usage pour les vitrages des magasins de glaces polies.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après M. Houtart Cossé, la fabrication de 1 mètre de glace exige :

Pour le brut (fonte et recuit)		180 kilog. de houille.
Pour le douci	77	195
Pour le poli	118	
		375 kilog.

A Saint-Gobain, la tonne de houille revient en moyenne à 22 fr. ; ce qui porte le prix de revient de 1 mètre de glace de 21 à 24 fr., selon les qualités.

Le prix brut de revient est plus élevé en France qu'en Angleterre et en Belgique, tant à cause de la cherté du combustible que du prix élevé des sels de soude. D'ailleurs, il y a des verres de différents choix; le prix de vente du mètre carré, de la glace de troisième choix, est, d'après M. Chevandier de Valdrôme :

La glace de 50 décimètres carrés vaut	26f.95	le mètre carré.
1 mètre	33f.75	
2 mètres	39f.20	
3 mètres	44f.65	
4 mètres	47f.35	
5 mètres	50f.10	

La même glace, de 5 mètres, deuxième choix, vaut 58f.40 le mètre carré, et au premier choix, 66f.75.

En 1855, la manufacture de Saint-Gobain a exposé de très-magnifiques glaces, d'une qualité irréprochable; l'une d'elles avait une superficie de 18 mètres carrés 4 centimètres. Une glace de Cirey mesurait 18mc.50 de surface.

En 1867, la manufacture de Saint-Gobain a soutenu avec honneur la concurrence qui lui était faite par des usines rivales; son exposition a montré sa supériorité et l'a maintenue au rang distingué qu'elle s'est fait dans l'industrie de la verrerie. Les magnifiques glaces exposées au Champ de Mars ont prouvé que les industriels qui dirigent Saint-Gobain ont su porter la fabrication des glaces coulées à un point de perfection qu'il serait difficile de dépasser.

Le Société des glaces de Saint-Gobain a été établie en octobre 1655 par lettres patentes du roi Louis XIV et sur le rapport de Colbert. En 1858, elle s'est réunie à la Société des glaces de Saint-Quirin, Cirey et Monthermé, qui elle-même comptait plus d'un siècle d'existence.

La Société des glaces de Saint-Gobain possède les établissements suivants :

1° A Saint-Gobain (Aisne), une manufacture de glaces coulées; 2° à Chauny (Aisne), une manufacture de glaces polies et étamées; 3° à Chauny, une manufacture de produits chimiques; 4° à Cirey (Meurthe), une manufacture de glaces coulées, polies et étamées; 5° à Stolberg, près d'Aix-la-Chapelle, une manufacture de glaces coulées, polies et étamées, 6° au Waldhof, près Manheim, une manufacture de glaces polies et étamées; 7° à Aubervilliers, près Paris, une usine qui fabrique les mêmes produits chimiques que celle de Chauny; 8° enfin, à Montluçon, une manufacture de glaces coulées.

La Société de Saint-Gobain n'a rien négligé pour améliorer le sort des ouvriers qu'elle emploie; des institutions de bienfaisance, des écoles sont établies aux diverses usines de la Société; enfin, une Société coopérative de consommation a été fondée en 1868.

A.-F. Nogués.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS ET INSTRUMENTS DE L'ART MÉDICAL

CLASSE XI.

A

Matériel des secours à donner aux blessés sur le champ de bataille. — Ambulances civiles et militaires destinées au service des armées de terre et de mer. — Sociétés internationales de secours pour les blessés.

PAR M. LE DOCTEUR **GRUBY.**

DEUXIÈME PARTIE.

Dans un précédent article [1], nous avons donné un aperçu de l'organisation des sociétés internationales de secours pour les blessés des armées de terre et de mer, en nous attachant principalement aux différents modes de transport, voitures, wagons de chemin de fer ou brancards divers employés pour cet usage. Encore avons-nous dû omettre quelques-uns de ces derniers, que l'espace qui nous est accordé ne nous a pas permis de décrire, et auxquels nous devons cependant au moins une mention.

Nous citerons donc entre autres :

Le brancard français du Dr Devilliers, articulé pour pouvoir raccourcir l'appareil ; ce modèle a obtenu une médaille d'argent de la Société internationale, constituée en jury ;

Un brancard à deux roues, non suspendu, de M. Arrault, système français ;

Un brancard à bras en fer, dont le fond est en feuilles d'acier minces, élastiques, exposé par MM. Robert et Collin ;

Un brancard à ressorts et tringles en fer à deux roues ;

Un brancard-brouette à ressort, de M. Bawden, Anglais ;

Quatre autres brancards anglais de différents modèles se distinguant par la simplicité de la construction et la facilité à les employer ;

Un brancard à roue unique pouvant se dédoubler ;

Un brancard français composé de deux longrines en sapin, avec pieds mobiles en fer forgé. C'est le brancard favori pour le transport, car il joint une grande solidité à la légèreté ; il ne pèse que sept kilos, et l'on peut en charger facilement un cent sur une voiture. Mais il offre un inconvénient, il est dépourvu de dossier pour soutenir la tête ;

Un brancard américain à pied pivotant ;

Un autre brancard américain, consistant en un cadre à bras avec une toile clouée sur les côtés ;

1. *Etudes*, t. V, p. 24.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un brancard bissac, composé de quatre bâtons et d'une toile, exposé par le Dr Martrès, chirurgien-major au 91e de ligne;

Un sac-brancard du même inventeur, facile à convertir en chaise ou en lit au besoin, et qui mérite d'être recommandé (médaille d'argent);

Un brancard prussien exposé par M. Speier, de Berlin, dont la toile ordinaire est remplacée par un treillis double en fil de laiton, très-résistant et élastique en même temps.

Au reste, M. Speier, que nous rencontrerons encore plus loin, à propos d'un lit pour malade, avait employé dans tous ses modèles ce même treillis d'un prix modique (1 fr. le mètre), et qui présente l'avantage de ne pas être infecté par les insectes comme les matelas ordinaires (médaille de bronze).

Le sergent Shortell, Anglais, avait exposé un train de roues avec ressorts à espacement variable, s'adaptant à toute espèce de brancard et tenant très-peu de place. Cet appareil a obtenu une médaille d'argent.

Nous verrons plus loin les expériences faites sur la mise en usage de ces divers brancards dans les transports par chemins de fer.

C'est ici le lieu de réparer une erreur commise dans la première partie de ce travail, tome V, page 42. Le brancard-lit français improvisé a bien été exécuté par M. Verber, mais l'invention en est due à M. le comte de Beaufort, et cette invention a été récompensée d'une médaille d'or par le jury.

N'oublions pas non plus de dire que le brancard du regretté Dr Gauvin (mort récemment, à l'âge de trente-cinq ans) a été l'objet de la même distinction. (Voir, pour ce brancard, Ire partie, p. 43, fig. 23.)

On emploie encore un autre mode de transport dont il n'y avait pas de spécimen à l'Exposition, c'est-à-dire le transport des malades à dos d'homme : d'abord à la façon turque, au moyen d'une sorte de crochet de portefaix à bretelles offrant à sa partie inférieure un coussin en guise de selle auquel sont suspendus deux étriers.

Le porteur ayant engagé ses épaules dans les bretelles, le malade se place à cheval sur le coussin, les pieds soutenus par les étriers, enlaçant de ses bras la poitrine du porteur qui soutient sa marche à l'aide d'un bâton.

Puis le transport des malades, façon suisse, encore à l'aide d'un crochet à bretelles, mais disposé d'une autre manière; la partie inférieure du crochet est en forme de siége au-dessous duquel une planchette suspendue à deux courroies soutient les pieds du malade qui se trouve ainsi dos à dos avec son porteur.

Ces deux modes de transport peuvent être utilement employés sur les champs de bataille, pour l'enlèvement rapide des blessés, et surtout pour les blessures de la tête; car alors le malade, étant transporté verticalement, pourrait pendant le trajet même recevoir déjà des secours convenables.

Maintenant, il nous reste à dire quelques mots sur le transport des blessés au moyen des bêtes de somme et des cacolets, qui sont agencés pour transporter à dos deux malades ou blessés, soit assis de chaque côté de l'animal, mulet ou cheval, sur un siége à crochets suspendu, soit couchés sur une petite litière également suspendue aux flancs de la selle du porteur.

Dans ce mode de transport, on remarquait à l'Exposition :

Le cacolet français dont, au besoin, la partie formant lit se replie pour le transport des bagages; le mouvement en est assez doux et produit un effet de tangage; il pèse 48 kilogrammes;

Le cacolet américain, plus léger que le cacolet français;

Le cacolet italien de M. Locati, pour un blessé, pesant 47 kilogrammes;

Un autre du même, pour deux blessés, du poids de 65 kilogrammes;

Les cacolets allemands, prussiens, portugais;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin un modèle du cacolet français, perfectionné par le sergent Shortell.

On transporte aussi des malades à dos de chameau, dans des chaises à porteurs suspendues aux flancs de l'animal, et disposées pour recevoir une personne assise ou couchée. La Turquie avait exposé un cacolet dans ce genre.

Au reste, dans nos provinces, et surtout dans les campagnes, les paysans emploient encore aujourd'hui les ânes et les mulets, principalement pour transporter, à l'aide de paniers disposés de la même façon, leurs denrées dans les marchés et assez souvent leurs enfants.

On ne saurait douter au surplus que cet usage des cacolets, et ce mode de transport n'aient été inspirés par la vue du transport par les chameaux usité dans l'Orient depuis l'antiquité. Mais, quoi qu'il en soit, le mouvement imprimé à ce véhicule par l'animal marchant au pas, plus sensible encore au trot, ne permet pas d'employer ce mode de transport pour les blessures graves.

Pour en finir, nous dirons que les cacolets, avec des mulets surtout, ne nous paraissent pas d'un emploi avantageux sur les champs de bataille.

Comme l'a fait judicieusement observer, dans les conférences internationales, le Dr Landa, de Madrid, les cacolets ne peuvent être employés sous le feu de l'ennemi. Il faut quatre hommes pour contenir un mulet, et s'en rendre maître. Ensuite, sur le champ de bataille, le chargement est difficile et souvent dangereux. Ce moyen n'est donc pas praticable.

La proposition de faire des brancards avec des fusils ou des lances offre bien quelque chose d'ingénieux ; mais les fusils et les lances ont une autre destination, à laquelle il faut les laisser, et d'ailleurs l'usage de ce moyen présente aussi dans la pratique de graves inconvénients ; d'où il résulte qu'en somme jusqu'à présent le moyen le plus expéditif pour l'enlèvement des blessés est toujours le transport à bras. C'est la conclusion que donne le Dr Landa, dont nous partageons en ceci complétement l'opinion.

Les Orientaux font aussi un usage général, comme moyen de transport, de hamacs, chaises à porteurs ou palanquins, et parmi les véhicules de ce genre, nous devons mentionner un hamac suspendu à deux longs bâtons fixés eux-mêmes de chaque bout aux flancs de mulets ou de chevaux dont l'un marche à l'avant et l'autre à l'arrière.

D'après une célèbre voyageuse, Mme la princesse de la Tour d'Auvergne, ce mode de transport, peu dispendieux en ce pays, laisse néanmoins à désirer en ce sens que les secousses imprimées au hamac par les chevaux se font assez vivement sentir pour que les malades en soient incommodés. En outre, la différence du niveau du sol qui se trouve parfois entre les deux animaux occasionne aussi une inclinaison fort désagréable.

Pour obvier à ces inconvénients, voici les moyens qu'on pourrait employer :

1° Suspension du hamac dans le milieu d'un long bâton qui par sa longueur même amortirait déjà une partie des secousses. En outre, cette suspension combinée avec une chaîne ou une corde permettrait au hamac de conserver la position horizontale quand même les chevaux marcheraient sur un plan différent. Ce bâton se bifurquerait à chaque extrémité, bifurcation assez large pour permettre d'embrasser de chaque côté les flancs de la selle où il serait fixé au moyen d'un ressort.

Pour fixer ce bâton unique à chaque cheval, on pourrait le suspendre par l'intermédiaire d'un ressort adapté à la sellette qui, elle-même, serait élastique.

Par ce mode de suspension on obtiendrait alors :

1° Élasticité du bâton en raison de sa longueur ;

2° Élasticité du ressort fixé contre la sellette ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Élasticité résultant du ressort placé entre la sellette et la courroie qui porte le brancard.

4° Horizontalité constante et indépendante des inégalités du sol.

On pourrait obtenir le même amortissement des secousses en employant, au lieu d'un seul bâton, deux bâtons portant également à leur milieu le hamac suspendu ; mais il est entendu, qu'en cette circonstance, on maintiendrait chaque bout du hamac très-large aux extrémités des bâtons, pour prévenir un trop grand balancement.

Jusqu'ici nous avons parlé des divers moyens employés pour enlever le blessé aux horreurs du champ de bataille, et l'amener sûrement aux endroits où la science et l'humanité vont verser sur ses plaies leur baume adoucissant. Et ce sentiment, qui fait honneur à l'humanité, est si naturel, que nous le retrouvons chez des peuples dont la civilisation est beaucoup moins avancée sous d'autres points. C'est ainsi que, suivant le Dr Landa, dans la dernière guerre du Maroc, on voyait les Marocains, bien que combattant sans organisation régulière, ne jamais laisser un blessé sur le champ de bataille ; ils allaient, au péril de leur vie, le ramasser dans la mêlée et le rapportaient sur leurs épaules.

Il en est de même des Arabes en Algérie.

Nous avons à nous occuper actuellement des abris qui sont préparés pour le blessé à titre provisoire ou définitif.

Là encore, l'Amérique occupe un rang très-honorable.

Ainsi on a remarqué une tente d'ambulance avec chauffage en sous-sol exposée par les États-Unis, fig. 29.

Cette tente est à double toît et le chauffage y est établi de manière que le foyer étant placé devant la tente dans un fossé, le tuyau d'appel pour la fumée se trouve de l'autre côté de la tente, dont le sol est ainsi chauffé au moyen d'un large canal recouvert de dalles, qui sert de communication entre le foyer et la cheminée et présente une très-large surface de chauffe.

La cheminée d'appel, formée de troncs d'arbre, est garnie à l'intérieur de terre glaise.

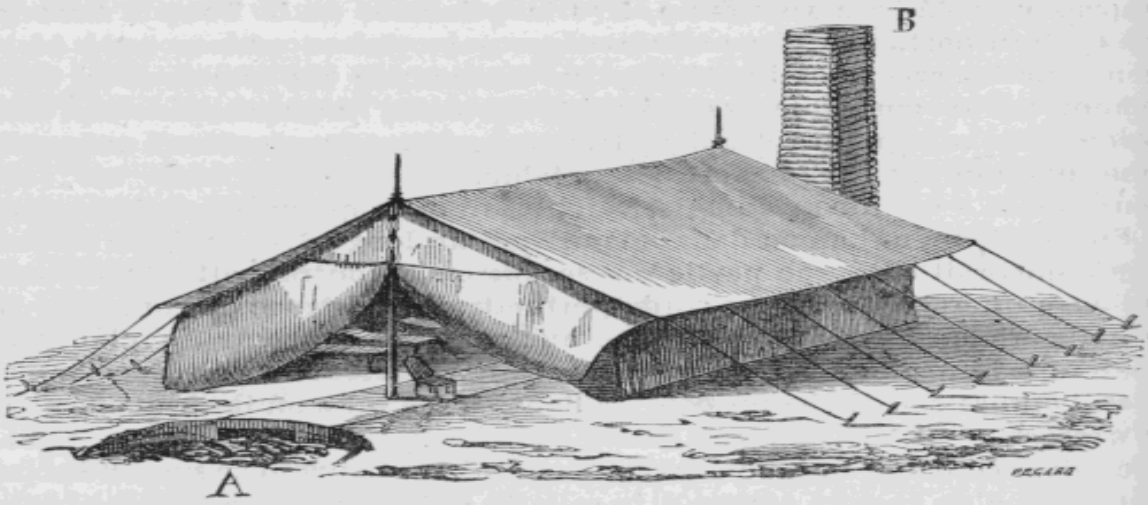


Fig. 29.

A. Foyer incandescent devant la tente.
B. Cheminée placée derrière celle-ci.

Une autre tente américaine carrée, à double intérieur, et mettant ainsi l'es-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pace à profit, résiste très-bien à l'action du vent et se case facilement, toutes les parties en étant similaires. La partie supérieure est double, avec un espace ménagé entre les deux toiles, ce qui procure une aération excellente; elle est en outre d'un transport facile. Tel est le résultat des observations judicieuses du docteur américain Crâne, et nous sommes heureux de nous y associer.

On voyait encore une tente roulante américaine pour ambulance, de 3m.50 de large sur 2m.50 de haut, montée sur quatre roues.

Enfin une autre tente américaine à double toit avec fond mobile pour établir une communication avec les tentes qui se trouvent placées sur la même ligne.

En résumé toutes les tentes américaines méritent d'être préférées à cause de leur solidité et du bon système de leur ventilation, et en ce qu'elles ont des planchers en bois en surélévation du sol.

Nous avons beaucoup remarqué, exposées par la Prusse, plusieurs tentes, dont une en fer, pour les malades ou blessés, une autre à seize lits et une troisième à un lit.

Ces tentes prussiennes ont une forme carrée; la partie supérieure est recouverte d'une seconde toile étendue au-dessus de la première, mais sans utilité pour la ventilation. En outre, si on les construisait sur de grandes dimensions, elles n'offriraient pas au vent une résistance suffisante.

La tente anglaise de forme ovale est parfaitement établie; elle présente, pour ainsi dire, une double tente, étant recouverte d'une seconde toile, espacée de la première, et qui par là facilite la ventilation. Les ouvertures pratiquées dans l'intérieur sont recouvertes par l'enveloppe extérieure.

Tente française pour malades ou blessés.

La forme présente au milieu un bâton élevé autour duquel la toile descend jusqu'au sol en plan conique. Les malades sont couchés à terre sur des matelas disposés en rayon autour du bâton formant l'axe. La ventilation est établie par l'ouverture d'entrée qui elle-même est abritée sous une toile mobile formant store. Cet abri, d'une forme primitive, présente un très-grand avantage pour sa légèreté et par le peu de place qu'il occupe. Il doit être d'un secours précieux pour créer des refuges dans des endroits inaccessibles aux chevaux et aux voitures.

La fig. 30 de la page suivante représente la coupe et le plan de cette tente, et les fig. 31 et 32 en donnent l'élévation.

Cette tente est excellente pour abriter dix-sept personnes; mais elle n'est pas imperméable, et ne peut par conséquent être employée pour un service hospitalier.

Une tente abri à lacets, imaginée par M. Alfred Varnier, ancien officier d'administration, est formée de toiles à sac, bordées tout autour d'un rempli ourlé de 0m.025 millimètres, dans lequel sont pratiqués les œillets. Les coins, renforcés par des triangles de toile, sont percés de boutonnières qui peuvent recevoir indifféremment un bâton de support ou la corde à piquet, de sorte que les toiles à œillet peuvent se raccorder entre elles par les quatre côtés indistinctement.

Les toiles à œillet sont en outre applicables à divers usages: ainsi, avec cette toile on peut faire en moins de deux minutes, à l'aide du lacet et de deux bâtons, une civière à laquelle on donne le nom de palanquin. Il suffit de plier la toile en quatre et d'y passer le lacet; il en résulte alors un coussin de 80 centimètres, entre les carrés duquel on passe les deux bâtons de 1m.20 centimètres, dont les bouts dépassant la toile de 0m.20 centimètres servent de poignées. Deux hommes peuvent ainsi porter facilement et commodément un malade, un blessé, ou à l'occasion un fardeau, des munitions, etc., et cela par des chemins

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que ne pourraient suivre les voitures du train des équipages, les brouettes ou les mulets.

Les diverses parties qui composent la tente peuvent être ainsi utilisées :

1° Des cacolets pour porter les blessés ;

2° Des palanquins pour le même usage ;

3° Chaque homme peut former avec sa toile et une corde un sac pour transport d'objets quelconques.

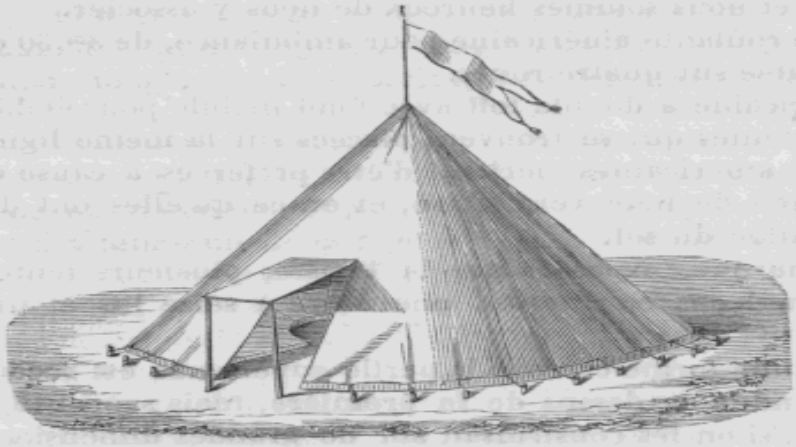


Fig. 30.

Un des principaux mérites de cette tente, c'est que deux minutes suffisent pour la dresser et une seule pour l'enlever. Une aussi ingénieuse combinaison ne pouvait échapper à la sage appréciation du jury, qui a décerné à M. Varnier une médaille d'argent.

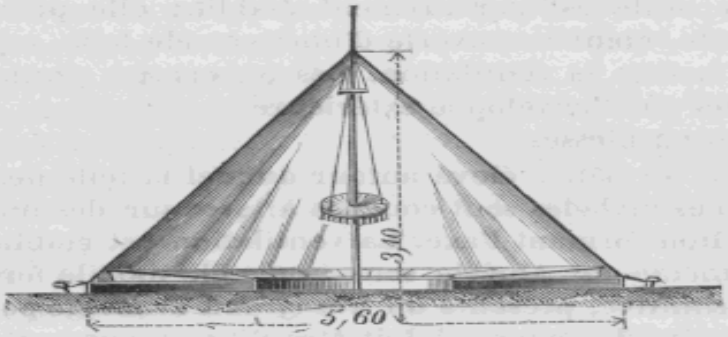


Fig. 31.

Mais il nous semble qu'on pourrait former un abri encore plus simple que la tente, composé, par exemple, de cinq fusils disposés de manière à ce que deux fusils devant et deux derrière croisés à la hauteur de la baïonnette reçoivent à leurs points de jonction le cinquième fusil posé et attaché horizontalement. Une toile serait placée à cheval sur ce dernier, et fixée par quelques cordes sur le sol. Cette tente pourrait être prolongée à l'infini en rangeant les baïonnettes dans le sens horizontal l'une à la suite de l'autre, et en les soutenant dans les interstices par un ou deux fusils.

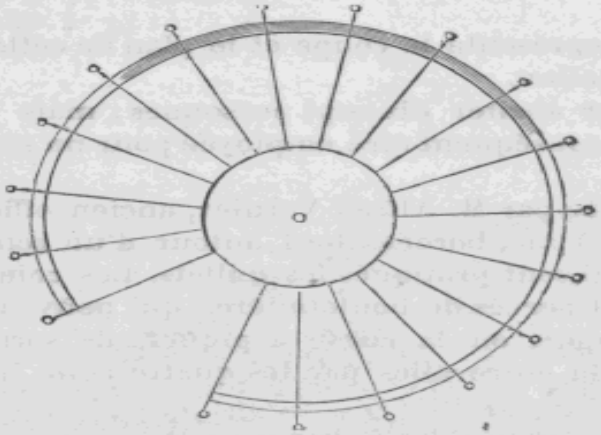


Fig. 32.

A la suite d'études et de recherches pour augmenter le confortable des tentes et les mettre à l'abri des changements atmosphériques, on a été amené à combiner les tentes avec des baraques en bois, formées de planches ayant un côté fermé par des rideaux et un plancher aussi solide que possible, et convenablement orientées. Mais dans les expériences faites à ce sujet, on a remarqué que le plancher de la baraque communiquait une vibration au lit du malade quand

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on marchait autour de lui, que cette vibration lui était une cause de gêne et de souffrance, à ce point qu'on en a vu gémir chaque fois qu'on faisait un pas.

Comme il serait difficile d'asseoir un plancher solide sur un champ de bataille, je proposerais de percer celui qu'on aurait pu établir aux endroits où doivent être placés les pieds du lit, et de les caler en dessous, de façon que celui-ci fût complétement isolé de ce dernier. J'ai moi-même expérimenté avec succès cette sorte de plancher pour des instruments de précision qu'il fallait soustraire à l'influence des mouvements vibratoires.

Mais ce qui est à désirer avant toute chose, c'est de prévenir l'agglomération des malades, source ordinaire des maladies contagieuses, en les disséminant dans de petits hôpitaux ou dans la campagne. Les sociétés patriotiques de secours pour les blessés de Vienne et de Berlin ont rendu des services immenses en adoptant ce mode dans la guerre d'Allemagne, en 1866.

Les États-Unis d'Amérique avaient complété leur exposition par deux choses dignes de la plus sérieuse attention.

C'était d'abord un plan général de leur service de santé, que nous reproduisons de nouveau ici, bien que nous l'ayons déjà donné dans notre premier article. Mais cette reproduction a pour but de faciliter l'intelligence des détails que nous avons pu recueillir sur cette merveilleuse combinaison, et que nous avions promis à nos lecteurs.

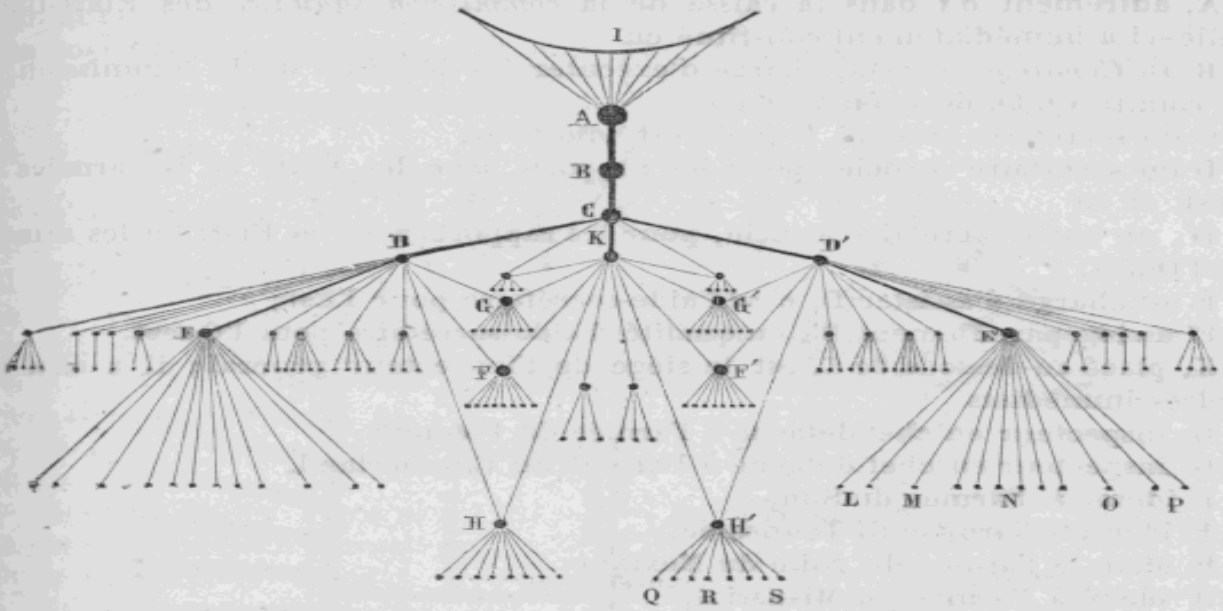


Fig. 33.

Exposé dans la division américaine, ce plan avait pour objet de faciliter aux visiteurs les moyens de porter leur jugement sur l'ensemble de la direction imprimée aux États-Unis à une branche aussi importante de l'administration, surtout à l'époque de leurs cruelles guerres civiles.

Le tableau commence par l'administration centrale, et dans ses rayonnements successifs, il arrive à faire connaître les établissements les plus modestes. Il donne en un mot le plan des ambulances et de l'organisation de l'assistance militaire pendant la dernière guerre.

On voit dans la figure 33 plusieurs catégories de points, les uns gros, les autres plus petits. Les gros points représentent les fonctions principales, dont les rapports hiérarchiques sont figurés par les lignes épaisses qui les rattachent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les unes aux autres. De chacun de ces gros points, rayonnent dans différentes directions des lignes plus minces, terminées à leur tour par des points plus petits. Ces derniers figurent des fonctions, des spécialités ou des détails d'administration d'une importance relativement secondaire.

En résumé, nous voyons un tronc d'où partent des branches principales, donnant naissance à des rameaux méthodiquement disposés. A chaque bifurcation, de même qu'à l'extrémité de chaque rameau, se trouve un nœud ou station. Chaque branche ou rameau figure une ligne de responsabilité. Les petits nœuds sont subordonnés aux nœuds moyens par des rameaux ; les nœuds moyens se rattachent aux nœuds principaux par des branches plus ou moins fortes et ainsi de suite.

Les différentes branches de cette vaste organisation, formant une série double, la légende ci-après ne donne le nom que d'une de ces séries.

I figure le peuple américain resté fidèle à l'Union. C'est par cette corne d'abondance (ou plutôt cet entonnoir) que les citoyens des États-Unis ont fait couler les souscriptions pour secourir les soldats loyaux dans

A, autrement dit dans la caisse de la *commission sanitaire* des États-Unis; celle-ci a immédiatement constitué en

B un *Comité permanent*, chargé d'exécuter les décisions de la commission, et ce comité a nommé à son tour en

C un secrétaire général, lequel s'est adjoint en

D un secrétaire associé, pour les rapports avec les États ou les armées de l'Est, et en

D', un autre secrétaire associé, pour les rapports avec les États ou les armées de l'Ouest.

E est chargé d'assister D, c'est l'aide-secrétaire pour l'Est ;

E' assiste pareillement D', en qualité d'aide-secrétaire pour l'Ouest.

K, placé au-dessous de C, est le siége de l'inspecteur général ; il a sous ses ordres immédiats

G, inspecteur en chef détaché à l'armée du Potomac,
G' inspecteur en chef détaché à l'armée du Cumberland,
F idem, à l'armée du Sud,
F' idem, à l'armée du Tennessee,
H idem, à l'armée du golfe du Mexique,
H' idem, à l'armée du Mississipi,
L Département des laissez-passer et des transports,
M réception des visiteurs,
N bureaux chargés des correspondances,
O magasins.
P garçons de bureau et de magasin.

Ces diverses branches se rattachent en E et en E', c'est-à-dire aux aides-secrétaires dont les rapports et la responsabilité passant successivement en D D', sont concentrés en C pour être contrôlés et épluchés en B et finalement en A.

Q s'occupe des secours spéciaux ;
R est chargé des secours généraux ;
S représente les inspections sanitaires.

Ces trois derniers services se groupent, ainsi que le montre le plan, en H, H', F, F', G, G', ce qui fait comprendre leur répartition dans chaque corps d'armée sous la surveillance des inspecteurs en chef. Ceux-ci à leur tour rendent doublement compte : 1° à K, l'inspecteur général ; 2° à D D', les secrétaires-associés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux autres points pour lesquels il ne se trouve pas de lettres indicatives, comme ils sont d'une bien moindre importance, on a dû renoncer à les décrire pour ne pas surcharger une légende déjà assez compliquée. Nous nous contenterons de dire qu'ils représentent, entre autres choses, en partant de la gauche :

La direction générale des hôpitaux,

Les bureaux des transports et des publications,

Les magasins de provisions,

Les salles de réception pour les visiteurs des malades, ainsi que celles des lectures et conférences,

Les secours spéciaux,

Et enfin les bureaux d'un commis principal, chargé de la distribution des secours particuliers, de la révision et de la correction des documents à publier, de l'acquittement des soldes arriérées, pensions, etc.

Les développements dans lesquels nous venons d'entrer nous semblent assurément justifiés par l'importance de cette institution, par la perfection de son ensemble administratif, et surtout par les immenses services qu'elle a rendus pendant la guerre d'Amérique.

On voyait ensuite un plan en relief de l'hôpital général de Philadelphie, pour

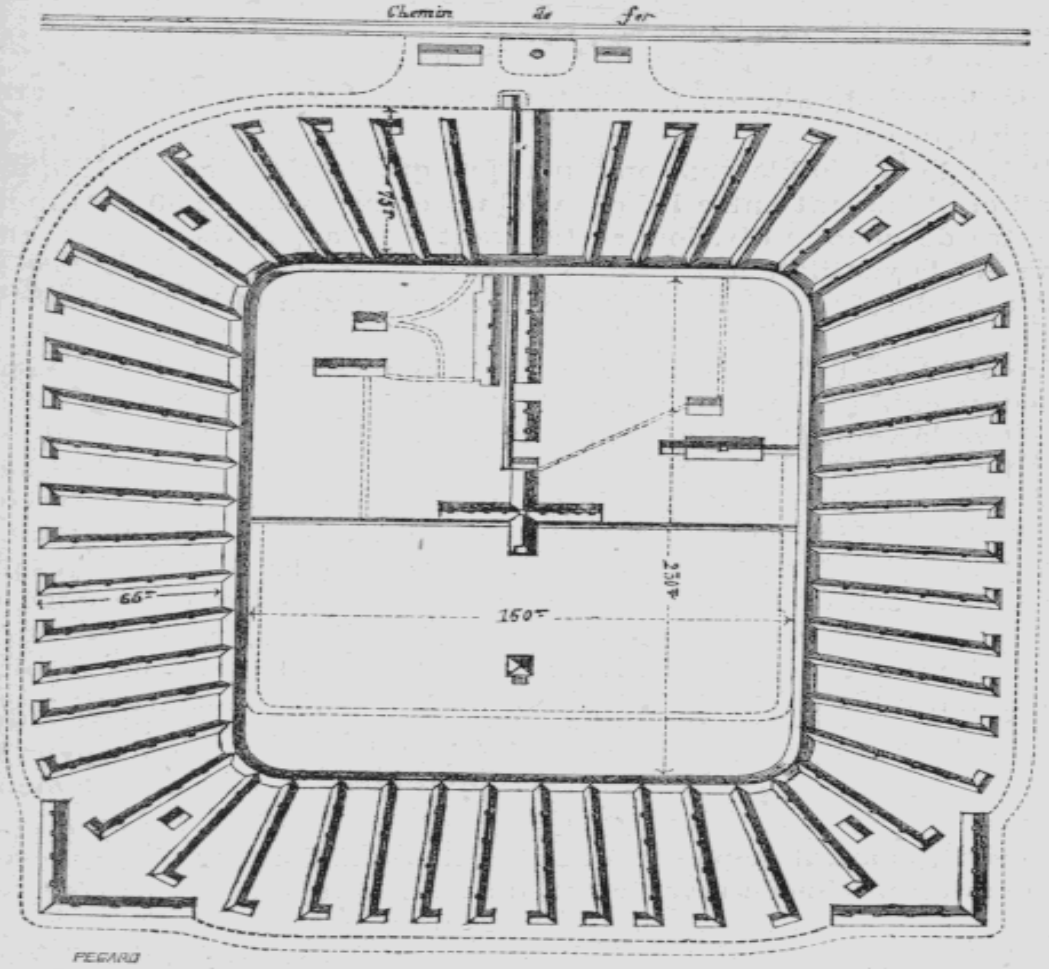


Fig. 34.

3,500 malades (fig. 34), établi de manière à ce qu'on puisse apprécier jusqu'aux moindres détails de l'administration.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce vaste établissement, susceptible, comme nous venons de le dire, de recevoir 3,500 malades, se composait de 51 pavillons en bois, contenant chacun 60 lits, disposés autour d'un vaste espace quadrilatéral, communiquant tous ensemble par la partie centrale, et assez espacés entre eux pour que l'accès en soit facile également de tous côtés.

La figure 35 représente un des pavillons de cet hospice.

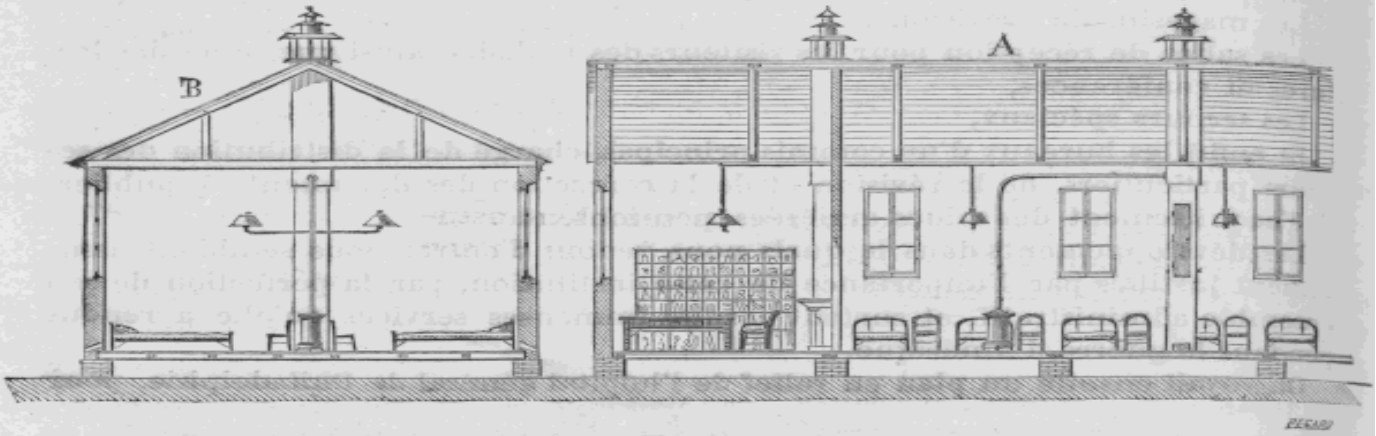


Fig. 35.

A, coupe longitudinale.

B, coupe transversale.

En dehors de l'ameublement on remarque que le plancher en briques est en surélévation et laissant entre lui et le sol un espace vide de 50 centimètres.

Au centre de chaque division se trouvent des appareils pour le chauffage, l'éclairage et la ventilation.

Quant à ce dernier article, il est établi avec un soin qui mérite une mention toute particulière.

Chaque salle de l'hôpital est assez vaste pour assurer à tout malade plus de 27 mètres cubes d'air. Un faux toit placé à $1^{m}.20$ au-dessus de l'arête supérieure active la ventilation pendant l'été, et en hiver, quand les interstices du toit sont fermés, l'air est renouvelé par des cheminées d'appel. Chacun des quatre poêles qui chauffent la salle est muni à sa base d'une ouverture pour donner accès à l'air pur et qu'on peut fermer à volonté. Une cheminée recouverte de tôle et large de 45 cent. descend à travers la charpente jusqu'à $2^{m}.40$ au-dessus du poêle, et reçoit le tuyau qui donne passage à la fumée et à l'air vicié.

Les excellentes conditions dans lesquelles on avait établi cet hôpital méritaient d'autant plus d'attirer l'attention, qu'il n'avait été construit avec tant de soin qu'à titre provisoire, puisqu'il fut détruit après la guerre.

Maintenant, et avant de passer à l'appendice qui doit terminer notre travail, il nous paraît à propos de revenir sur un point que nous avons réservé dans la première partie, afin de ne pas en interrompre la suite.

On doit se rappeler en effet, qu'à l'occasion d'un chariot d'ambulance français à deux roues (voir tome V, p. 31), nous avons promis de proposer plus tard quelques modifications, dont ce mode de transport nous paraît susceptible.

C'est pourquoi nous allons examiner en peu de mots les inconvénients ou les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avantages qu'offrent respectivement, pour le service des ambulances, les différents systèmes de voitures à deux roues ou à quatre roues.

Evidemment le but que l'on veut atteindre est de pouvoir enlever le plus rapidement possible les blessés du champ de bataille, pour les transporter aux ambulances, — surtout aujourd'hui, qu'avec les moyens de destruction employés et chaque jour perfectionnés, on peut en quelques heures mettre hors de combat des milliers et des milliers d'hommes. Il faut donc des véhicules susceptibles d'arriver promptement sur le terrain en franchissant les cadavres d'hommes ou d'animaux, les fossés, les troncs d'arbres, les débris d'équipages ou d'affûts de canons brisés, en un mot les obstacles de toute espèce. Or les voitures à quatre roues ne sauraient être employées à un tel usage, car elles ont nécessairement trop de tirage, et ne peuvent aussi satisfaire aux conditions que réclame le service à remplir, conditions qui exigent :

1° Des roues d'un très-grand diamètre, pour franchir les obstacles et porter une grande charge avec peu de tirage ;

2° Une caisse spacieuse pour contenir un plus grand nombre de blessés ;

3° D'être légères et à un cheval, afin de produire un plus grand effet ;

4° Que le chargement en soit rapide et facile.

L'expérience et la comparaison ont suffisamment démontré que c'est par le moyen des voitures à deux roues que l'on peut plus aisément parvenir au résultat désiré.

Mais d'un autre côté, s'il est incontestable qu'à la rapidité du transport on doive joindre en égale proportion, tout au moins, le soin de préserver le malade ou le blessé de toute secousse et de tout choc violent, les voitures à deux roues ordinaires offrent sur ce point un défaut capital par leur mouvement saccadé, et par conséquent pénible pour le transporté, quand le cheval prend une autre allure que le pas.

Il est vrai que les brancards élastiques du cab, par exemple, et du cabriolet anglais, ainsi que les quatre ressorts du cabriolet français, paralysent beaucoup les secousses du cheval; mais ces sortes de véhicules sont trop compliqués pour des voitures d'ambulance ; il n'y a donc pas lieu de nous en occuper ici.

Aussi, éclairés par l'expérience sur les inconvénients que nous venons de signaler dans les voitures à deux roues, les Etats-Unis d'Amérique, qui, au commencement de la dernière guerre civile, avaient employé ces sortes de voitures pour le service sanitaire, ne tardèrent pas à les abandonner, pour s'en tenir définitivement aux voitures à quatre roues. Ils construisirent en ce genre des véhicules légers, les meilleurs qu'on ait jamais employés pour ce service spécial, bien qu'ils présentent encore un inconvénient qui leur est commun toutefois avec quelques voitures anglaises, c'est que la hauteur des roues de devant ne leur permet pas de s'engager sous la caisse comme les nôtres, d'où peut résulter une difficulté ou du danger pour tourner.

Est-ce à dire maintenant que la voiture à deux roues soit définitivement condamnée, et doive être abandonnée dans le service des ambulances? Nous sommes loin de le penser. Les recherches, les efforts incessants des constructeurs, les moyens ingénieux imaginés en France et en Angleterre pour arriver à remédier à l'inconvénient signalé plus haut, pour ce système de voitures, prouvent l'importance qu'on a toujours attachée à cette question, et permettront sans doute un jour d'adopter l'emploi des voitures d'ambulance à deux roues, quand on sera parvenu à supprimer entièrement cette dureté dans les mouvements, qui leur donne aujourd'hui le désavantage. Il ne reste donc plus pour cela qu'à trouver le moyen de paralyser les secousses, et c'est pour arriver à un but aussi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

désirable, que je proposerais les modifications suivantes dans l'établissement de ces voitures :

1° Donner à la roue un diamètre d'environ un mètre cinquante centimètres à deux mètres;

2° Fixer sur l'essieu un brancard élastique sans qu'il touche à la caisse, afin qu'il ne puisse lui communiquer les secousses du cheval ;

3° Suspendre la caisse sur l'essieu, mais indépendante du brancard, au moyen de quatre ressorts en feuilles.

Cette caisse pourrait se composer d'un ou de deux compartiments. Dans cette dernière disposition, un des compartiments, haut de 1m.50, serait placé au-dessus de l'essieu, maintenu par les quatre ressorts; l'autre, d'un mètre de hauteur, serait au-dessous de l'essieu, accroché au plancher de la caisse supérieure par quatre chaînettes, au moyen desquelles on obtiendrait une suspension complète et indépendante des allures du cheval. Ces deux compartiments auraient des ouvertures ménagées pour la ventilation.

La voiture serait disposée pour quatre couchettes, deux dans chaque caisse.

On pourrait encore trouver un autre mode d'utiliser les voitures à deux roues. Il consisterait à employer des roues du diamètre que nous venons d'indiquer plus haut. Mais au lieu de les fixer sur un seul essieu, on les placerait de manière à donner à chaque roue un essieu indépendant qui prendrait son attache sur le côté de la caisse au moyen d'un grand ressort en feuilles. La caisse elle-même, haute de deux mètres, serait disposée pour recevoir quatre couchettes dont deux placées sur le fond et les deux autres sur un cadre à ressorts s'appuyant sur des tasseaux adaptés aux panneaux.

Sur le milieu et en haut serait un siége pour le cocher et deux autres personnes.

L'essieu pourrait être brisé, et les deux brisures de chaque côté réunies au besoin au-dessous de la caisse suspendue par quatre ressorts ordinaires ou par deux grands.

Avec ces sortes de chariots qui, par leur construction basse, seraient inversables, on rencontrerait de grands avantages dans la facilité pour le chargement et le déchargement des malades. Or, c'est cette facilité d'exécution, si nécessaire dans ces opérations délicates, qui est loin de la perfection, et qu'on pourrait encore augmenter au moyen d'un cric et d'un cylindre enroulé d'une corde qui, accrochée au brancard muni à cet effet de deux rouleaux, l'amènerait facilement au moyen d'un plan incliné formé lui-même au besoin d'un brancard vide et retourné.

Il est vrai de dire cependant que déjà dans plusieurs systèmes de voitures le chargement s'effectue par derrière, ce qui offre une modification favorable.

A l'appui des observations que nous venons d'émettre, nous signalerons, bien qu'elle n'ait pas été exposée, mais comme pouvant rendre de très-grands services, une voiture pour malade, genre omnibus, destinée au transport des personnes qui ne peuvent pas supporter les secousses.

Cette voiture à un cheval est faite pour un malade. La caisse est suspendue sur 4 ressorts très-longs et très-doux. Voici ses dimensions :

Longueur.	2m.01
Largeur.	1m.34
Hauteur.	1m.50

L'entrée a lieu par une porte de derrière; le cocher est placé sur un siége

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

élevé ; des vasistas doubles vitrés en bois entourent la caisse, excepté vers le panneau de devant.

Le malade est couché en long au milieu de la voiture ; on laisse de chaque côté un espace de 30 centimètres entre la couchette et le panneau, afin de lui permettre de s'asseoir de chaque côté. Le cadre qui reçoit le lit est placé d'un bout sur un tasseau adapté au panneau de devant, et de l'autre sur un tabouret fixé au parquet de la voiture. Entre le cadre et les points d'appui se trouvent des ressorts pour amortir les secousses. Le cadre est garni tout autour, à l'intérieur, de ressorts à boudin qui reçoivent des baguettes en bois blanc (genre des sommiers Tucker). On installe le malade sur des matelas bien faits ; l'extrémité du cadre qui correspond à la porte, est brisée à 40 centim. du bout et à charnières, pour procurer une entrée facile dans l'intérieur de la voiture. Le ciel est double : en bois à l'intérieur, il présente trois ouvertures de 12 centim. de diamètre sous un toit extérieur espacé lui-même de 10 centim. ; cet espace, qui sert à la ventilation, comporte extérieurement à l'avant et à l'arrière de la voiture des ouvertures pour faciliter la circulation de l'air et empêcher la concentration de la trop grande chaleur. L'intérieur de la caisse est pourvu de deux timbres, un vers l'avant, l'autre du côté de la porte, afin que le malade puisse avertir le cocher sans se déranger.

Ce véhicule est en activité depuis plus de quatre ans, à la grande satisfaction de la personne qui l'emploie.

Réparons maintenant une légère omission en citant un chariot-couchette des Indes, traîné par des chevaux ou des bœufs, puis un véhicule placé parmi les produits du royaume de Siam, et qui ne manque pas d'une certaine valeur. C'est une voiture à deux roues, sur lesquelles se trouve la caisse pour les voyageurs ; elle est attelée de deux bœufs.

Il est à remarquer que le timon se trouve entre les deux bœufs et au-dessus d'eux, et qu'il porte l'attelage en avant comme à l'ordinaire ; mais le reste du timon fait continuation avec le plancher de la caisse, ce qui permet aux voyageurs d'en sortir et de se placer à l'air libre sur le plancher fixé à ce timon.

APPENDICE.

Nous avons pensé que notre travail serait incomplet si, avant de le terminer, nous ne disions pas quelques mots sur des objets ou appareils ayant également pour but le soulagement de l'homme en état de maladie, sans toutefois rentrer d'une manière spéciale dans les catégories dont nous venons de nous occuper. Tous ces objets n'ont pas été exposés, il est vrai, mais nous croyons cependant devoir les mentionner ici, parce que tous ils ont été conçus dans un but humanitaire, celui d'apporter au moins un allégement à des souffrances que la science est parfois impuissante à prévenir ou à enlever.

Ainsi on a combiné des appareils variés pour faciliter aux malades l'usage des facultés physiques paralysées dans leur action normale par la souffrance ou les affections morbides ; on a fabriqué des siéges assez élastiques pour soustraire une partie malade ou affectée à la sensation douloureuse d'un froissement quelconque ; on a établi pour l'intérieur des appartements ou la promenade à courte distance des appareils de locomotion avec le secours de l'homme ; on a trouvé enfin mille inventions ingénieuses pour suppléer aux défaillances de la nature en lutte avec la douleur ou la maladie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour rester dans les limites qui nous sont imposées, nous allons en citer seulement quelques-unes qui se rapprocheront le plus de notre sujet.

On a pu remarquer, par exemple, à l'Exposition des meubles, un fauteuil roulant pour malade, combiné avec une chaise à porteur, de fabrication anglaise et de l'invention de M. Alderman, de Londres.

Ce meuble est formé de deux parties indépendantes. L'une se compose d'une monture de roulettes à quatre pieds ou chariot, et la seconde d'un siége à bras sans pieds qu'on peut placer sur le chariot à volonté.

De chaque côté de ce siége est établi un levier à porteur pour transporter le malade sans l'aide du chariot; chose précieuse, puisque le malade peut être placé sur un siége quelconque en conservant l'appareil.

La suspension en est combinée de manière à rester toujours horizontale, aussi bien en montant qu'en descendant les escaliers.

Chaque levier est brisé et à charnière à l'avant et à l'arrière, afin qu'au repos les bouts brisés retombent et n'embarrassent pas l'usage du chariot dans un appartement. Ce genre de fauteuil est le plus complet qui ait été construit jusqu'à ce jour.

Le comité du grand-duché de Bade avait, en ce genre, exposé une chaise roulante à trois roues sans ressorts.

A la suite de ces meubles nous mentionnerons, bien qu'il n'ait pas été exposé, un fauteuil roulant et suspendu, placé sur un chariot construit totalement en fer léger, à trois roues, dont deux grandes derrière et une petite sur le devant.

Les deux grandes roues, de 70 centimètres de diamètre, sont maintenues à distance et emmanchées à un fort essieu. A dix centimètres de chaque roue, l'essieu porte des barres qui, courant d'arrière en avant, se rejoignent à angle aigu pour recevoir les garnitures de la petite roue. Celle-ci, en même temps qu'elle présente un des trois points roulants du chariot, sert aussi à recevoir dans la partie supérieure de sa tige un levier dont on se sert en guise de gouvernail. Le levier est à charnière et tombe verticalement pour ne pas gêner le malade.

Cet ensemble forme un triangle dont chaque angle est muni d'une roue.

Le fauteuil est placé sur un cadre carré à ressorts en feuille fixés sur l'essieu des grandes roues. Les deux lames du ressort latéral sont adaptées sur le même essieu. A chacun de leurs bouts se trouvent les extrémités des ressorts de devant et de derrière arrêtés par des boulons. Entre le milieu du ressort de devant et celui de derrière est une barre de fer portant, au tiers de sa longueur, devant et derrière, un fer plat croisant à angle droit qui sert à recevoir le châssis du siége du fauteuil, de sorte que le meuble se trouve suspendu par le siége.

De chacun des deux pieds de derrière du fauteuil part une tige de fer qui passe au-dessous de l'essieu et du ressort de devant, les croise aussi à angle droit sans les toucher, et se prolonge jusqu'à la petite roue de devant. Ces deux tiges reçoivent la planchette qui sert de marchepied. Cette planchette est en outre fixée à la tige rigide de la petite roulette au moyen de deux vis et de deux ressorts à boudins.

Les grandes roues ont cinq rais ondulés. En dehors de ces rais se trouve un cercle de bois qui sert de main-courante pour que le malade au besoin puisse imprimer le mouvement lui-même.

Ce fauteuil est surtout destiné aux malades pour qui toute locomotion est impossible, et qui ne peuvent supporter les secousses imprimées aux jambes aussi bien qu'au corps. Il est employé depuis quinze ans avec le plus grand succès, non-seulement à l'intérieur, mais encore pour des promenades au dehors, et quoi qu'il soit tout en fer, il joint néanmoins la légèreté à l'élégance de la forme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On remarquait aussi des lits de fer américains, d'un prix peu élevé (7 ou 8 francs).

Le sommier est composé de lattes de sapin, dont les extrémités percées de trous oblongs portent sur des traverses métalliques, garnies d'arrêt en forme de bouton. Le trou oblong dans les lattes forme coulisse et laisse au bois toute son élasticité.

Nous appellerons encore l'attention sur des couchettes et appuis de tête élastiques, à triple élasticité pour voyages, en voitures de terre ou en chemin de fer.

Ces couchettes se composent :

1° D'un cadre en bois à l'extérieur ;

2° D'un second cadre à l'intérieur, aussi en bois et matelassé ;

3° De deux tabourets élastiques.

Le cadre extérieur a 1m.20 de long sur 0m.60 de large, longueur convenable pour pouvoir le placer dans une calèche ordinaire ; il repose à la tête et aux pieds sur deux tabourets élastiques, et reçoit dans son intérieur le cadre matelassé élastique. Les tabourets puisent leur élasticité dans des ressorts à boudin contenus dans leur intérieur ; par leur mobilité en tous sens, ils paralysent les secousses de bas en haut et les secousses latérales de la voiture. Le cadre intérieur est suspendu dans le cadre extérieur par des ressorts à boudin. Cette suspension a pour but de produire le même effet que les tabourets, quant aux secousses latérales et de bas en haut. Ce cadre a un fond sanglé sur lequel se trouve le matelas en crin et à ressort ; ce matelas non-seulement diminue l'impression des mouvements, mais encore, comme il peut s'adapter aux inégalités du corps, il atténue par là la fatigue résultant d'une position horizontale trop prolongée.

Le malade placé sur cette couchette supporte les plus longs voyages sur le pavé ou en chemin de fer, sans en être incommodé.

Une expérience de dix années, appuyée sur de longs voyages, m'a engagé à adopter ce système, et jusqu'à présent les malades sont si éloignés d'y trouver des inconvénients qu'ils se plaisent au contraire beaucoup à en user. Ainsi une dame, à toute époque de la grossesse, prédisposée même aux fausses couches, a pu franchir une distance de plusieurs centaines de lieues, partie en voiture sur de mauvaises routes et partie en chemin de fer, d'une manière fort agréable, sans éprouver d'autre sensation que le plaisir du voyage et sans que cela ait pu influer en quoi que ce soit sur son état.

J'ai fait encore usage, depuis plusieurs années, d'une sorte de hamac-brancard élastique pour voyages.

Cet appareil peut aussi bien servir pour le transport des malades que comme lit pour voyager en wagon de première et de deuxième classe, ou en wagon de marchandises, ou enfin dans une voiture quelconque. Il se compose de deux bâtons passés dans les coulisses d'une toile, et dont les extrémités sont engagées dans des anses en cuir fixées sur deux tabourets élastiques destinés à maintenir l'écartement des bâtons.

Le malade étant placé sur la toile et sur les tabourets, si l'on veut le transporter dans un wagon de première et de deuxième classe, on le dépose sur deux banquettes ; si c'est pour le mettre dans un wagon de marchandises, on allonge les bâtons en reculant les tabourets, de sorte que l'élasticité des uns vient s'ajouter à celle des autres, et que cette élasticité s'obtient toujours en raison de l'éloignement des tabourets.

Veut-on s'en servir en guise de brancard, on allonge les bâtons, et les deux tabourets, qui forment les points d'écartement, augmentent encore l'élasticité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour transporter l'appareil, on retire les tabourets et on roule la toile sur les bâtons ; le tout tient alors peu de place et est d'un poids relativement très-léger.

Les siéges adoptés par plusieurs chemins de fer se rattachent à ce système. Le cadre qui porte les coussins a en dessous un ressort en feuilles appuyé sur des tasseaux fixes, afin que les secousses imprimées par le train soient amorties. Ce cadre est en outre formé de planchettes en bois blanc épaisses d'un centimètre, qui, par leur élasticité naturelle, contribuent à rendre ce siége plus confortable. Il serait à désirer de voir employer pour toutes les voitures suspendues ce mode peu coûteux et efficace.

J'ai moi-même adopté depuis longtemps des siéges du même genre pour les malades. Le coussin en est formé de deux claies d'osier entre lesquelles se trouvent des ressorts à boudin en cuivre. L'extérieur est garni comme à l'ordinaire. Ces sortes de siéges peuvent se placer sur une ou deux banquettes, selon la position qu'on veut faire prendre au malade.

M. Speier, de Berlin, que nous avons déjà cité, avait encore exposé un lit de malade à fond et à traversin élastiques. Le traversin est formé par un cylindre en maillons en fil de métal qu'on garnit à l'extérieur.

L'Autriche avait exposé des coussins à ressorts pour l'intérieur des voitures.

L'Angleterre avait exposé également un lit et un canapé pour malade, où l'élasticité est obtenue par un procédé particulier (probablement l'emploi de coussins à air et de matelas à ressorts) qui prévient les lésions du décubitus.

On voyait encore dans l'Exposition anglaise une table à pupitre pour un malade, pouvant se placer sur le lit, et fixée en dehors par un pied.

M. Marzeaux, rue d'Enghien, 24, à Paris, avait exposé un siége à ressorts pour voiture. — Ce siége, placé dans une voiture, évite les secousses imprimées par le mouvement, secousses souvent nuisibles dans certaines maladies. L'élasticité se trouve dans les bois et non dans la garniture. Or, l'effet produit sur le malade est bien différent dans les deux cas.

M. Petit, sous-chef au département du chemin de fer du Midi, à Tarbes, avait exposé un siége variable dans sa hauteur, à dossier mobile arrêté par des triangles en fer, ce qui permet de varier les inclinaisons.

Par une disposition ingénieuse, en variant la position du dossier on varie dans la même proportion l'élévation du siége, de sorte qu'il peut convenir à des personnes de tailles différentes, puisqu'on modifie l'élévation en raison de la taille du malade. L'usage d'un tabouret devient par suite inutile, les pieds reposant toujours sur le sol.

Je l'ai expérimenté depuis un an à la grande satisfaction des malades qui en font usage et qui se plaisent à proclamer son utilité réelle.

Ces chaises, cannées ou sanglées et se pliant, sont légères et élégantes de forme, et, ce qui ne gâte rien, elles sont d'un prix fort modique. Mais leur tort était d'être exposées dans le compartiment de la fonderie, où elles ne furent pas assez remarquées. Elles sont du reste construites à peu près dans le même principe que la chaise américaine, dont nous allons parler.

Entre les produits remarquables de cette catégorie, l'attention se portait d'une façon toute particulière sur des chaises américaines très-légères et très-portatives, dont les baguettes de siége sont espacées entre elles de 4 centimètres et disposées parallèlement d'avant en arrière, larges de 25 millimètres sur une épaisseur de 5 millimètres (fig. 36).

Le fond, établi sur un X en bois mobile, est arrêté par un simple pivot à la partie antérieure. Le dossier formé de baguettes verticales est entouré et fermé par un bois cintré fixé par un pivot sur la partie supérieure et postérieure de l'X. — De chaque côté du dossier part un petit bois formant appui-main. — Le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fond repose sur les baguettes inférieures du dossier, de sorte que ses propres baguettes alternant avec celles-ci, elles traversent le vide du dossier et sont arrêtées par une baguette transversale.

De cette façon, le fond trouve par derrière un point d'appui qui permet au dossier de se coucher sur lui, tandis que ce fond lui-même se replie sur l'X qui a changé de forme; en un clin d'œil, le siége s'affaisse comme un portefeuille, et en soulevant la chaise par le dossier, elle se dresse toute seule.

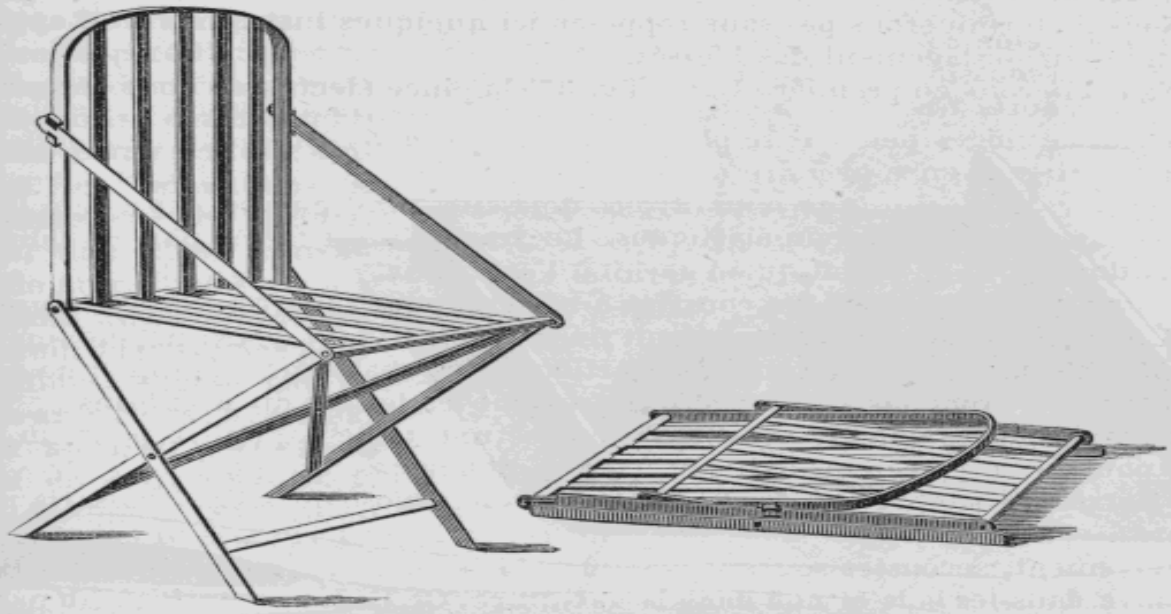


Fig. 36.

La figure de gauche représente la chaise dressée, et la figure de droite le siége replié sur lui-même.

Les Indes anglaises avaient exposé un modèle de chaise à porteurs avec une caisse grande comme celle d'un petit omnibus, ayant de chaque côté une porte à deux battants incrustée et ciselée avec un goût auquel on est peu habitué. Elle est munie, de l'avant à l'arrière, d'une tige partant presque du milieu du panneau de devant et de celui de derrière et soutenue par quatre arcs-boutants destinés à servir comme de levier aux porteurs qui portent sur l'épaule.

Il serait injuste de passer sous silence une selle à ressort élastique due à M. Leblanc, rue du Colisée, 27, à Paris.

Cette selle, garnie de ressorts, est à usage de cavalier ou d'amazone, elle neutralise les effets de la réaction. Elle présente surtout une innovation qui nous paraît très-heureuse, c'est un système de ventilation continue qui rafraîchit les reins du cheval, et soulage par ce moyen à la fois le cavalier et sa monture. En un mot, elle a pour effet de prévenir les secousses, inconvénient qui prive trop souvent les malades de recourir à ce genre salutaire d'exercice.

Parmi les objets composant le matériel des ambulances, nous devons une mention particulière à la collection de paniers et de boîtes de dimensions diverses pour le service des armées, exposée par MM. Savory et Moor de Londres, et contenant des collections plus ou moins complètes d'objets de pansement, de médicaments et d'outillages pharmaceutiques. L'exécution ne laisse rien à désirer sous le rapport de la précision et du confort. On y remarquait particuliè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rement, pour les fractures, des attelles en jonc assujetties par deux fils de fer qui les traversent et permettent de donner toute la courbe demandée.

Les flacons contenant des acides ou des substances volatiles ont, outre le bouchage ordinaire, engagé dans le goulot, une autre capsule en verre taraudée sur l'extérieur du goulot pour empêcher toute évaporation. Nous ne pouvons omettre non plus une pince à pansement et des gouttières à fractures composées de trois planchettes, de l'invention du Dr Philippe, et qui méritaient une sérieuse attention.

Nous ne terminerons pas sans rappeler ici quelques instruments ou appareils destinés au soulagement des blessés.

Nous citerons en première ligne (fig. 37) la pince électrique pour découvrir la

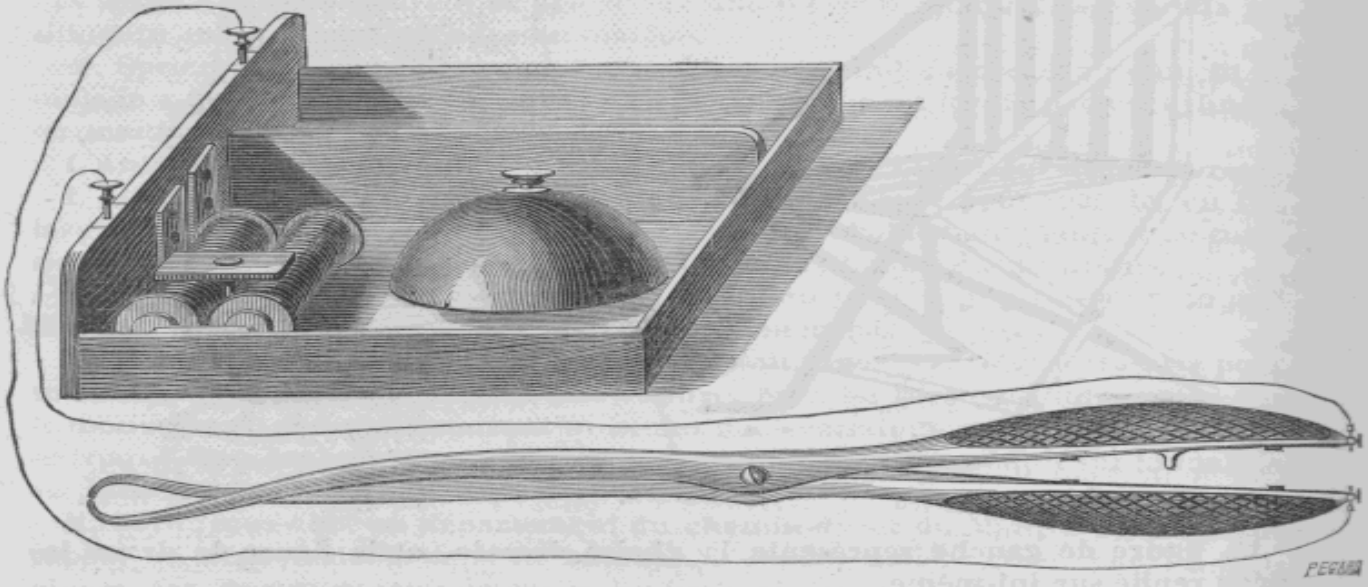


Fig. 37.

balle dans les plaies d'armes à feu, par le docteur Joseph Kovacs, professeur agrégé à l'École de médecine de Pesth. — Cet instrument a été employé avec succès dans les hôpitaux militaires de blessés à Pesth pendant la dernière guerre d'Allemagne et d'Italie. Il a pour objet de mettre en mouvement un courant électrique aussitôt que les pointes de la pince se trouvent en contact avec la balle.

Cette pince est mise en rapport par deux fils conducteurs avec un petit appareil de sonnerie électro-magnétique. — Les branches de la pince sont isolées l'une de l'autre, et, au moment du contact avec la balle, le circuit électrique se ferme, met la sonnerie en mouvement, et par là donne l'éveil sur la présence de la balle.

Elle trouve son application principalement quand des fragments osseux ne permettent pas de distinguer le projectile dans une blessure profonde, de façon à ce qu'on puisse douter de la présence d'un corps métallique dans la plaie.

Il est à regretter que le jury n'ait pas trouvé assez de temps pour acquitter une dette en récompensant cet appareil fort ingénieux, mais dont l'extérieur modeste n'attirait pas les regards.

MM. Teller, constructeurs d'instruments de physique, et Fischer, fabricant d'instruments de chirurgie, à Pesth, avaient fort habilement exécuté l'idée du docteur Kovacs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un professeur de physique à Pesth, avait exposé un modèle d'appareil de batterie électrique chargée d'acide nitrique et d'acide sulfurique, comme les éléments de Bunsen, avec cette modification qu'au lieu de charger les éléments l'un après l'autre, on les remplit et on les vide par un canal commun.

On peut en conséquence, sans perdre de temps, remplir et vider la batterie et la maintenir en activité tant qu'il y a du zinc. On peut la laver avec la même facilité. Mais en quoi surtout cet appareil touche au sujet qui nous occupe, c'est qu'un autre canal établi dans la même batterie empêche les émanations si incommodes des acides. Enfin, une chose remarquable entre toutes par son immense utilité, c'était un appareil, de sauvetage pour les mines, exposé par le génie autrichien, figure 38.

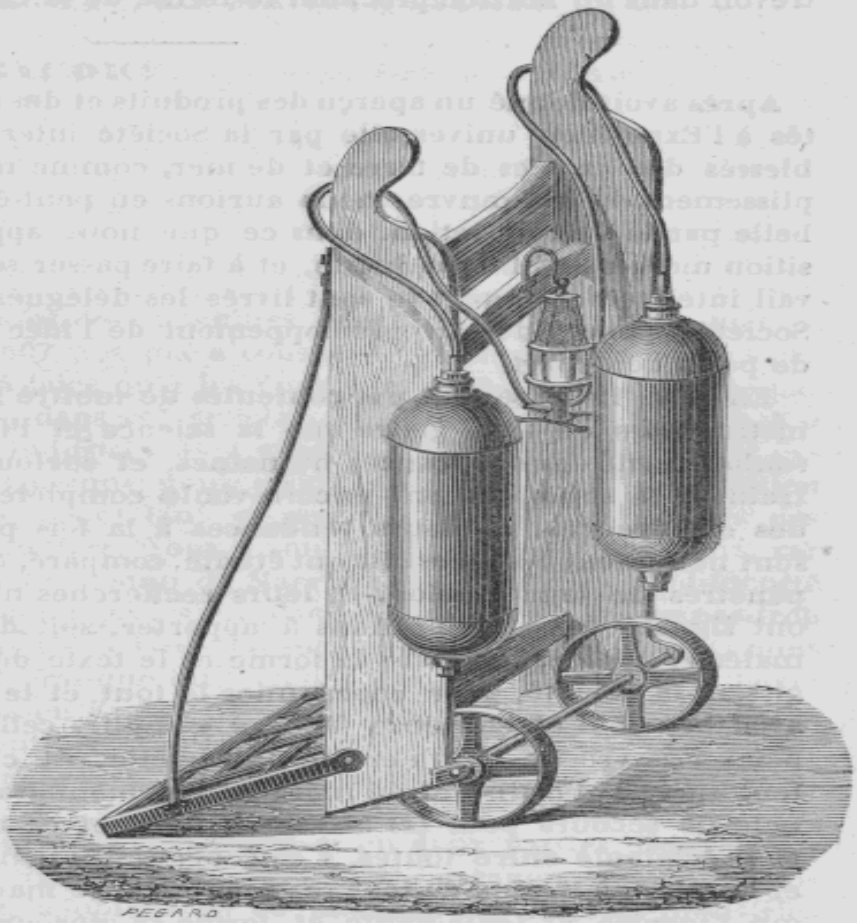


Fig. 38.

Cet appareil portatif est muni de deux réservoirs, l'un destiné à la respiration à l'aide d'un tuyau en caoutchouc, et l'autre sert à alimenter la petite lampe du mineur. Tous deux sont remplis d'air atmosphérique.

Cet aperçu, nécessairement incomplet, peut cependant suffire à faire entrevoir les immenses résultats obtenus jusqu'à ce jour par la science et l'industrie dans leurs tentatives incessantes pour seconder les tendances philanthropiques de notre époque, et surtout celles qui ont pour but de réagir contre les horreurs de la guerre; car la société actuelle ne la subit plus que comme un fléau, que tous ses efforts tendent à faire disparaître pour jamais; aussi, en attendant que cet espoir puisse se réaliser, cherche-t-elle par tous les moyens en son pouvoir à atténuer les calamités qu'elle traîne à sa suite. C'est dans ce but qu'ont été instituées ces sociétés internationales de secours pour les blessés qui, désormais, après la sanglante mêlée, ne veulent plus voir sur les champs de carnage que des victimes ayant toutes un droit égal à leurs sympathies, à leurs secours empressés et fraternels.

La science, de son côté, mettant au service d'un aussi noble sentiment le fruit de sa longue expérience et de ses veilles, s'est empressée d'apporter, au grand tournoi de l'Exposition universelle, cette foule d'ingénieux procédés destinés à adoucir, sinon à guérir les souffrances des blessés sur les champs de bataille.

Bien qu'il nous ait été donné de contempler là des choses dignes de l'admiration et de la reconnaissance de l'humanité, sans aucun doute, il reste encore beaucoup à faire, mais les hommes généreux qui se sont voués à la recherche

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du bien-être social ne sauraient s'arrêter tant que ce but ne sera pas atteint. Les incontestables progrès accomplis ne peuvent être pour eux qu'un acheminement à la recherche du mieux. Aussi ce que nous avons vu nous donne-t-il le droit d'espérer que la perfection viendra un jour couronner d'aussi glorieux efforts, et les étapes déjà si fructueusement parcourues nous permettent d'entrevoir dans un horizon prochain le terme de la carrière.

Après avoir donné un aperçu des produits et des ressources matérielles présentés à l'Exposition universelle par la Société internationale de secours pour les blessés des armées de terre et de mer, comme moyens d'action dans l'accomplissement de son œuvre, nous aurions eu peut-être à la montrer dans la plus belle partie de son action, dans ce que nous appellerons volontiers son exposition morale et philosophique, et à faire passer sous les yeux du lecteur le travail intellectuel auquel se sont livrés les délégués des diverses fractions de ces Sociétés, pour aider au développement de l'idée humanitaire qui leur a servi de point de départ.

En effet, ils ne se sont pas contentés de mettre sous nos yeux les appareils ou instruments en tout genre que la science et l'industrie ont imaginés pour le soulagement des souffrances humaines, et surtout de celles que la guerre entraîne à sa suite ; ils ont encore voulu compléter et moraliser leur œuvre par des conférences, où leurs tendances à la fois pratiques et philosophiques se sont nettement accusées. Ils ont étudié, comparé, cherché avec le soin d'hommes pénétrés de leur mission. Et leurs recherches n'ont pas été sans fruit, car ils ont signalé des améliorations à apporter, soit dans la nature et l'emploi du matériel exposé, soit dans la forme et le texte des règlements primitifs qui régissent la Société, pour coordonner le tout et le mettre en harmonie parfaite avec la noble et glorieuse tâche à remplir, celle qu'on peut à juste titre appeler l'œuvre de la fraternité universelle. Et c'est justement par ce caractère tout spécial d'utilité et de moralisation bienfaisante que la Société internationale de secours pour les blessés de terre et de mer s'est fait une place à part, et si éclatante entre toutes, à ce concours humanitaire. Elle a su, par ses actes et le zèle infatigable de tous ses membres, se maintenir à la hauteur du mobile qui l'inspire, et tenir haute et ferme sa glorieuse bannière où elle a inscrit : *Secours et pitié pour tous.*

Mais comme l'examen de ces travaux intellectuels sort du cadre de l'étude de l'Exposition proprement dite et exigerait des développements en rapport avec l'importance de ces travaux, nous avons mieux aimé conserver nos notes que viendra compléter l'historique des progrès faits par l'association depuis 1867. Ces notes coordonnées pourront faire l'objet d'un travail spécial qui paraîtrait dans les *Annales du Génie civil.*

Dr Gruby.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXIII

MACHINES A VAPEUR FIXES

DES USINES ET DES MANUFACTURES

PAR M. **JULES GAUDRY**, Ingénieur au chemin de fer de l'Est.

(Planches 114 et 149.)

Comme à toutes les expositions, les machines dites *fixes* ont tenu au mémorable concours universel de 1867 une place considérable. On les a comptées par centaines. Nous avons mieux à faire qu'à les énumérer et à les décrire une par une, et nous nous proposons, dans cet article, de considérer les machines à vapeur dans l'ensemble de l'industrie pour y saisir les tendances actuelles des constructeurs et des usiniers. Quoique nous ayons toujours en vue l'Exposition universelle, nous en sortirons cependant et nous irons chercher parfois nos spécimens de types dans les ateliers. Nous y sommes bien forcé, d'ailleurs, car dans aucune section du palais du Champ de Mars il n'y a eu autant de difficulté pour recueillir des renseignements précis sur place. Qu'on ne nous fasse pas trop le reproche de nous être occupé des types étrangers plus que des nôtres; nous avons cru servir ainsi l'intérêt pratique du lecteur. Il connaît ou il lui est facile de connaître ce qui se pratique en France; il lui est plus difficile de savoir quels sont les systèmes en ce moment préférés en Belgique, en Angleterre, aux États-Unis, en Allemagne; c'est pourquoi nous nous sommes attaché à cette recherche.

Notre présent travail va naturellement se diviser en deux parties. Nous considérerons d'abord la machine à vapeur dans sa généralité, organe par organe, puis nous relaterons les systèmes qu'adoptent en ce moment les diverses industries caractérisées par des données spéciales et constitutives.

I

Les machines fixes (en anglais, *stationary engines*, machines stationnaires) qui sont installées à demeure dans les usines et manufactures sont appelées ainsi, par opposition aux machines transportables (*portable engines*), qui comprennent les locomobiles et les locomotives, lesquelles peuvent travailler de suite en changeant de place. Elles ont fait l'objet de deux articles étendus dans ces *Études*. Les machines marines ont aussi été traitées avec beaucoup de développement. Il nous reste, pour compléter notre programme sur les machines à vapeur, à parler des machines fixes des usines et des manufactures.

A vrai dire, toute machine à vapeur peut fonctionner comme machine fixe. Telles sont les locomobiles, dès qu'elles sont arrivées sur place et installées pour travailler. Les locomotives de chemins de fer ont été souvent employées comme machines fixes dans les ateliers et les usines. On cale de part et d'autre les roues de support; on isole les roues motrices, soit en déblayant en dessous, soit en élevant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la machine entière, afin que ces roues motrices n'adhèrent plus à la voie ou plan de roulement et elles deviennent des volants auxquels on applique des poulies à courroie de commande. Dans les ateliers de chemins de fer, on supplée ainsi plus ou moins temporairement au moteur proprement dit de cet atelier ; et ce n'est pas une innovation, car les ateliers primitifs du chemin de fer de Versailles (rive gauche) ont été mus dès le principe par une locomotive à foyer hémisphérique de Bury. Dans l'industrie, on emploie souvent, même comme moteur courant, une vieille locomotive rebutée des chemins de fer et qu'on a achetée à prix réduit. Ce paraît être la destination normale de ce vieux matériel des Compagnies, qui n'est pas hors de service par usure, mais qui n'est plus au niveau des besoins. Il importe d'observer que, bien que les Compagnies soient dans l'usage de les livrer généralement en bon état de service et après réparation, il faut se garder de les faire travailler avec toute la force qu'elles déployaient dans leur traction sur les chemins de fer. D'abord leur réparation est rarement une mise à neuf. Comme de toute machine plus ou moins fatiguée et affaiblie, il faudra donc en ménager la puissance et les organes, par raison de sécurité. Ensuite, il est rare que dans les usines ces locomotives, converties en machines stationnaires, puissent travailler dans les conditions éminemment favorables de leur traction sur les rails. Les données du tirage de la cheminée, la vitesse, la qualité des eaux et du combustible, les soins dans la conduite et le règlement des organes, la régularité du service, sont généralement très-différents dans les deux cas et par la nature même des choses. Ce serait donc une erreur de se borner à poser à un ingénieur de chemins de fer cette question générale : Quelle est la force habituelle d'une locomotive de ce type? et de prétendre la lui faire produire en service courant dans une usine.

On peut établir comme règle que la force normale à demander dans les usines à ces vieilles locomotives abandonnées par les Compagnies peut être la suivante, d'après la puissance vaporisatrice de la chaudière dont l'élément fondamental est la surface de chauffe :

Locomotive ayant de 70 à 80 mètres de surface de chauffe, force moyenne.	35 chevaux.
Grosse locomotive ayant environ 120 mètres de bonne surface de chauffe, force moyenne.	60 —

Assurément, ces mêmes locomotives ont sur les chemins de fer une puissance en chevaux bien plus considérable ; mais, avec l'expérience acquise des ateliers, on n'osera pas compter sur des évaluations supérieures à celles qui précèdent. Elles correspondent, d'ailleurs, comme unité dynamique à des chevaux effectifs de 75 kilogrammètres, selon l'ancienne mesure de Watt [1].

1. Puisque nous en trouvons ici l'occasion, nous dirons que si d'après des usages locaux variables, et que les circonstances peuvent expliquer, on est arrivé à compter des chevaux de toutes sortes depuis 60 jusqu'à 300 kilogrammètres par cheval, il y a cependant au milieu de toutes ces confusions une valeur consacrée, absolue et même *légale*, inscrite du moins dans les lois, ordonnances et décrets. Elle égale 75 kilogrammètres. Watt l'avait adoptée et elle est à peu près l'expression de la quantité de travail que développe, au moins pendant un certain temps, un très-bon cheval de trait.

Libre à l'ingénieur de marine qui calcule une machine à raison de 300 kilogrammètres par cheval, d'appeler cheval un éléphant. Mais la preuve que lui-même entend cette valeur effective du cheval comme Watt et conformément à la nature, c'est que lorsqu'on relève la force réelle à *l'Indicateur*, ce sont des chevaux de 75 kilogrammètres qu'on enregistre ordinairement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine fixe proprement dite est celle qui est établie, indépendante et distincte du générateur, sur un massif inébranlable attenant au sol. Ce qui la caractérise est l'ampleur de mouvement, le dégagement des organes et la stabilité des assises réclamés avant tout par la régularité de la marche ainsi que par l'économie de consommation, et que ne vient plus contrarier la nécessité d'une réduction aux moindres poids et volume, ce qui est la première condition des machines transportables.

Les types variés à l'infini peuvent d'abord former deux grandes classes : l'une comprenant les machines essentiellement composées des organes fondamentaux adoptés par les constructeurs des premiers temps, on peut les appeler *machines classiques;* l'autre division embrassera un certain nombre de machines d'un principe tout spécial et exceptionnel. Un chapitre leur sera consacré. Nous allons seulement, dans ce qui suit, nous occuper des machines classiques. Ainsi que nous l'avons dit en commençant, prenons la machine à vapeur dans son ensemble et recherchons organe par organe quels sont les systèmes à la mode et les tendances de l'industrie actuelle.

1° *Cylindre à vapeur.* — Il est invariablement en fonte avec moulures ou nervures de consolidation et tous appendices attenant à la masse par la coulée. Des deux plateaux qui forment les extrémités, un seul est parfois distinct et démontable, sur collet en dehors; c'est naturellement celui par lequel on visite et on retire le piston et, autant que possible, celui du côté opposé à la sortie de la tige dudit piston, afin de ne rien déranger aux stuffing-boxes, crosse, bielle et glissières dont il sera ci-après parlé.

Non-seulement on voit des constructeurs ne pas craindre d'adopter, pour les cylindres revêtus de leur appendice, des formes tourmentées, d'un moulage difficile, mais, pour les machines où il y a plusieurs cylindres, ils coulent ceux-ci ensemble d'une seule pièce. Ceux qui ne veulent que présenter à l'Exposition des tours de force de fonderie commettent une naïveté dont les praticiens de bon sens ne tiennent pas compte. Quand on se propose ainsi d'économiser des frais d'ajustage supérieurs à ceux du moulage, on a raison, dans l'intérêt du constructeur; mais c'est parfois contraire aux intérêts du consommateur, qui sera forcé de remplacer tout le système, en cas d'avarie partielle, étant d'ailleurs ainsi à la discrétion du constructeur originaire qui possède le modèle.

Sauf pour les très-grands cylindres qu'on ajuste presque toujours debout par des *alésoirs verticaux*, on continue généralement dans les ateliers l'alésage horizontal, mais presque toujours on coule à la fonderie le cylindre debout.

On a pu remarquer à l'Exposition des cylindres aux arêtes d'une vigueur exceptionnelle dans leurs moindres recoins, qui ont été évidemment coulés avec une fonte très-liquide; mais, dans la pratique de l'industrie, il est constaté au contraire qu'on coule avec une fonte versée depuis longtemps du *cubilot* dans la *poche* et bien voisine de l'état pâteux, en ayant soin de ménager une *masselotte* parfois presque égale à la hauteur du cylindre lui-même; en un mot, en prenant toutes les précautions pour que le cylindre vienne en fonte grise, très-dense et roide, susceptible d'un beau poli, mais sans cette aigreur qui rend l'alésage impossible et surtout sans soufflures.

Les cylindres à enveloppe protectrice du calorique ont dominé à l'Exposition jusque dans les plus petites machines. Non-seulement les garnitures de feutre, de bois, de métal, ont été remarquées existant plus ou moins simultanément, mais les *chemises de vapeur* ou double cylindre avec couche de vapeur entre deux ont été en grand nombre. On a vu même beaucoup de couvercles de cylindre à double fond, dans lesquels la vapeur, introduite comme sur le pourtour du cylindre, enveloppait complétement celui-ci.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Le *piston* est le plus souvent garni en cercles d'acier, de bronze ou de fonte serrée élastique, s'ouvrant et s'appuyant d'eux-mêmes sur le pourtour du cylindre, suivant le système dit *suédois* ou de Ramsbotton ; s'il existe encore, suivant les vieux systèmes, des segments multipliés chassés par des coins de serrage et des ressorts spéciaux en lame ou en spirale, ils se rencontrent dans les très-grands pistons où le cercle d'acier n'est pas toujours pratique.

Les pistons très-minces adoptés il y a quelques années ne se sont pas généralisés ; ils n'ont guère moins de huit centimètres d'épaisseur dans les plus petites machines, ni moins de vingt centimètres dans celles de première grandeur, mais partout on les évide et on les allége autant que possible. L'attache des tiges sur le plateau, bien perpendiculairement et avec une solidité inébranlable, est toujours très-variée. Le cône claveté et la base vissée sont toujours pratiqués ; la tige venue de forge avec l'un des plateaux du piston, la multiplicité des tiges sur un même piston, sont des procédés qui se répandent.

Dans l'agencement qui a pour but de guider rectilignement le piston et sa tige proprement dite, l'Exposition et les ateliers nous offrent l'usage assez fréquent de la contre-tige sortant par l'autre couvercle du cylindre, surtout dans les machines horizontales. On a vu aussi un grand nombre de spécimens de glissières uniques, suivant le système généralement adopté aujourd'hui dans les machines marines.

3° *Mécanisme de transmission*. — Les formes et agencements d'organes, tels que balanciers, manivelles et arbres, offraient à l'Exposition comme dans l'industrie une variété infinie. La figure de la page suivante résume les principales combinaisons connues.

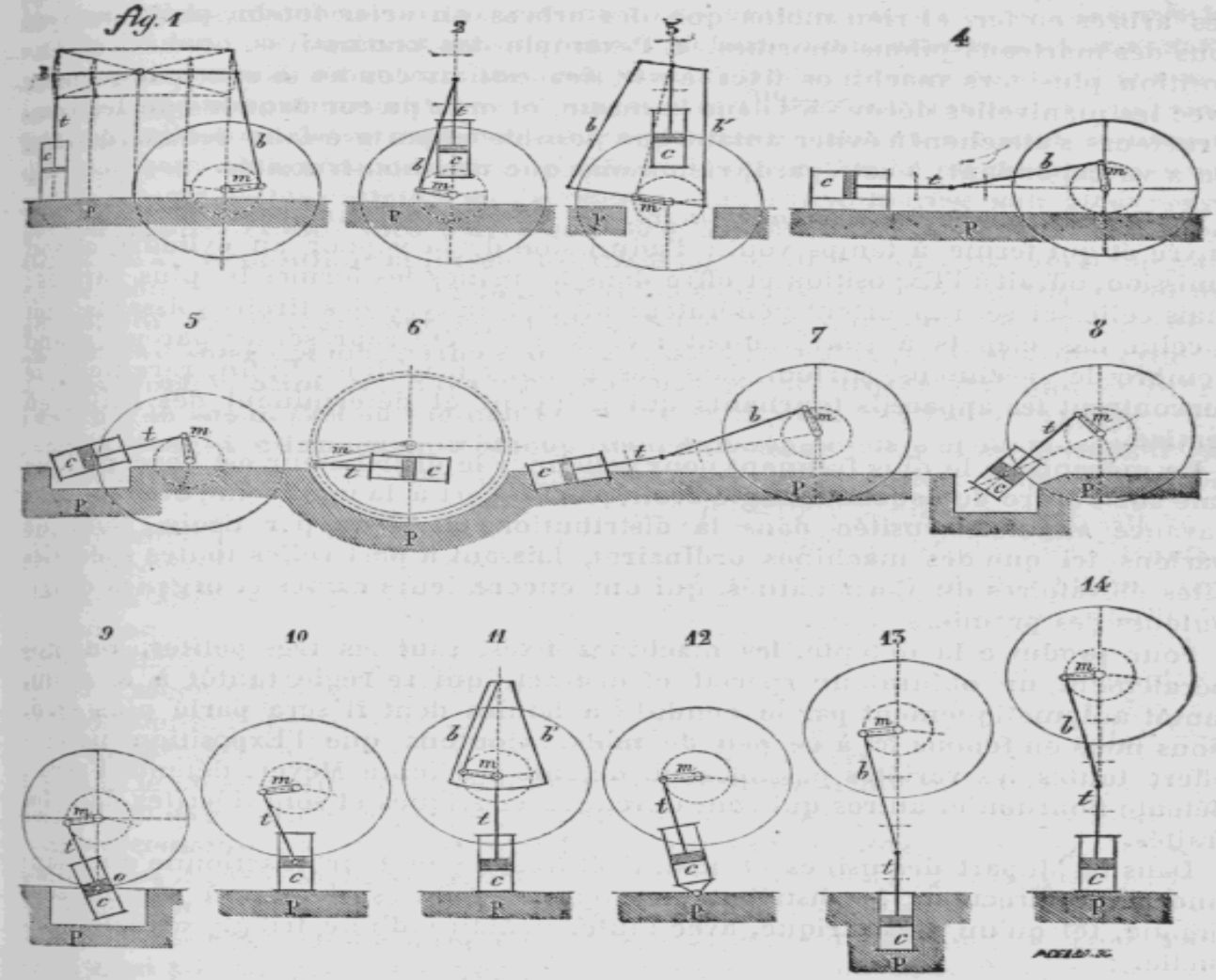
Les organes de la transmission n'ont pas offert de formes nouvelles depuis quelques années, mais celles usitées dans les locomotives des chemins de fer français tendent à se généraliser dans les machines fixes. Voici les remarques auxquelles a donné lieu l'Exposition dans l'examen comparé de ces organes :

Les balanciers des machines fixes sont en fonte à l'Exposition comme dans les usines. A la suite d'une mémorable catastrophe due à la rupture d'un balancier de fonte, en Angleterre, on pouvait croire que, suivant les propositions, on ferait emploi de ces balanciers en fer dont il y a des exemples pour des machines marines d'au moins 200 chevaux et que peuvent fabriquer les usines outillées pour faire le blindage des navires ; mais ces propositions paraissent restées sans suite. On n'est même pas plus soigneux qu'il y a vingt ans pour prévenir les conséquences formidables de la chute des fragments de balanciers, et les traverses ou étriers attachés dans ce but pour les retenir au-dessus des entablements sont en général ajoutés après coup.

Les bielles en fonte sont encore nombreuses à l'Exposition ; cependant, les bielles en fer les remplacent de plus en plus, même dans les machines à balanciers, où elles ont semblé si longtemps conserver leur domaine. Quant à la proportion de la bielle par rapport à la manivelle M qu'elle actionne, on sait que tous les auteurs l'ont évaluée à 5 M, et pour les cas où on est restreint par l'espace, on est descendu à 3 M. On démontre par les épures qu'au-dessous de ce dernier rapport il y a des actions perturbatrices sérieuses dans le mouvement de la machine, à moins qu'on ne fasse emploi de volants d'une puissance d'action formidable. On démontre, en second lieu, qu'avec le rapport 5 M les irrégularités sont pratiquement insignifiantes et qu'elles sont de plus en plus atténuées à mesure que la bielle s'allonge, d'où certains constructeurs ont fait la manivelle égale à 7 M et au delà. Dans la pratique, c'est, à notre avis, une erreur ; car la manivelle acquiert ainsi un poids d'autant plus considérable qu'il faut en même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

temps fortifier sa section. Non-seulement on augmente ainsi ces actions perturbatrices bien connues, que M. Lechatellier a étudiées dans les locomotives, mais il n'y a pas de bouton ou tourillon de manivelle qui puisse résister à la se-



cousse de pareilles bielles, heureux si elles ne cassent pas elles-mêmes. Les Allemands s'attachent au contraire à réduire autant que possible le poids des bielles ainsi que leurs proportions; mais il est admis, d'autre part, que ces petites bielles ayant à peine 2 M, qu'on a remarquées à l'Exposition, sont également une erreur.

Les manivelles rapportées, en fonte, à nervures, se rencontrent encore, mais le fer se substitue à la fonte de plus en plus. Le calage à chaud sur l'arbre ne se fait pas dans tous les ateliers, pas plus qu'on ne le remplace par le calage à la presse hydraulique, surtout quand la manivelle est en fonte ; ce serait peut-être pour le consommateur une raison de la proscrire, ainsi qu'il doit toujours faire pour les machines sujettes à choc. L'équilibrage des manivelles par des contre-manivelles, ainsi que cela se pratique dans les locomotives, n'a guère d'objet dans les machines fixes pourvues de lourds volants ; mais on voit assez fréquemment sur le volant lui-même des contre-poids en forme de lentilles qui en tiennent lieu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les plateaux-manivelles, remplaçant la manivelle proprement dite, n'ont toujours que de rares exemples.

Les arbres de couche en fonte se rencontrent encore dans quelques machines fixes, même provenant d'ateliers réputés. Par contre, on voit aussi mieux que des arbres en fer, et rien moins que des arbres en acier fondu, puis corroyés sous des marteaux-pilons énormes. A l'exemple des locomotives, on a vu à l'Exposition plusieurs machines fixes ayant des essieux coudés d'une seule pièce, avec les manivelles découpées dans la masse, et on a pu remarquer que les constructeurs s'attachent à éviter autant que possible le porte-à-faux des extrémités. On a vu cependant, à cet égard, rien moins que des monstruosités.

4° *Distribution de vapeur au cylindre.* — Le distributeur proprement dit, qui ouvre et qui ferme à temps voulu l'admission de la vapeur au cylindre et son émission, offrait à l'Exposition et offre dans les usines les formes les plus variées; mais celles-ci se rapportent généralement, soit au type des tiroirs glissants, soit à celui des clapets à soulèvement : ceux-ci ont été représentés par un grand nombre de spécimens, surtout dans les grandes machines. Enfin, rarement se rencontrent les appareils tournants qui grippent et déterminent des fuites en service.

Le mécanisme le plus fréquent pour actionner le distributeur est l'excentrique calé sur l'arbre de couche à angle droit, par rapport à la manivelle, avec ou sans l'avance angulaire usitée dans la distribution classique par tiroir. Nous ne parlons ici que des machines ordinaires, laissant à part celles toutes spéciales dites élévatoires du Cornouailles, qui ont encore leurs cames et organes distributeurs des premiers jours.

Pour produire la détente, les machines fixes, sauf les très-petites, ont généralement un obturateur spécial et distinct, qui se règle tantôt à la main, tantôt automatiquement par le pendule à boules dont il sera parlé plus tard. Nous nous en tenons ici à ce peu de mots. Ajoutons que l'Exposition nous a offert toutes les variétés possibles de détente : détente Meyer, détente Farcot, détente Bourdon et autres qui sont devenues classiques et sont décrites dans les traités.

Dans la plupart des usines et manufactures, le moteur n'actionne que dans une seule direction; le distributeur proprement dit est donc mû par un seul organe, tel qu'un excentrique, avec l'intermédiaire d'une tringle articulée ou bielle.

Dans quelques cas particuliers, tel que celui du monte-charges de mines ou d'entrepôts, il y a nécessité de diriger la machine tantôt dans une direction, tantôt à contre-sens; ladite machine possède alors la faculté du *renversement de marche*. On voit encore le simple déclanchement de la bielle ou tringle d'excentrique accompagné du levier pour manœuvrer à la main le tiroir distributeur, ainsi qu'il se pratiquait à l'origine; mais beaucoup plus généralement on a emprunté aux locomotives leur mécanisme bien connu de deux excentriques calés en sens contraire, et dont les bielles sont reliées par une coulisse dite de *Stephenson*. On sait qu'en soutenant à demeure la coulisse à des points variables, on peut varier aussi l'introduction de vapeur et la détente. On voit cependant des machines à vapeur où la coulisse, conduite par l'une ou l'autre extrémité, sert seulement au changement de la marche, un autre mécanisme spécial opérant la détente.

5° *Émission de la vapeur.* — Après avoir fonctionné dans le cylindre, la vapeur en est émise soit dans l'air, où elle se dissipe, soit dans un *condenseur*, où elle revient à l'état liquide, produisant dans le cylindre un vide sensible. L'emploi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des machines à condensation ou à échappement dépend surtout des circonstances locales. L'appareil condenseur étant compliqué, spacieux, lourd, dispendieux, on s'en passe généralement dans les petites machines inférieures à dix chevaux; on s'en dispense aussi pour cause de difficulté du transport et d'économie d'établissement. La condensation exige en outre beaucoup d'eau d'une bonne qualité, on l'évite donc encore, lorsque celle-ci fait défaut; mais elle permet une utilisation beaucoup plus économique de la vapeur, faculté précieuse quand le combustible est dispendieux, et alors on adapte presque nécessairement à la machine les appareils condenseurs qui comprennent essentiellement la bâche, la pompe d'épuisement dite pompe à air, le réservoir où la bâche est immergée pour rafraîchir ses parois extérieures, la pompe alimentant le réservoir et aspirant dans un puits, enfin l'injecteur d'eau dans le condenseur en jet de pluie fine. On a vu à l'Exposition une grande variété d'installations de ces divers engins. Cachés souvent sous le sol par un parquet dans un caveau, ils ont été dissimulés au visiteur. On a signalé surtout la pompe à air à double effet, mise en contre-bas de la bâche condensatrice. Il y a aussi des exemples de pompe verticale à double effet, mise au niveau du condenseur proprement dit, qui en retire l'eau par le bas et l'air par le haut.

On sait qu'il existe deux systèmes de condenseur : dans l'un la vapeur est admise avec l'eau d'injection en une bâche ou chambre; dans l'autre la bâche est percée de part en part par un faisceau de tubes immergés dans l'eau. La vapeur entre dans les tubes et se condense au contact des parois refroidies par l'eau extérieure, sans mélange respectif. D'autrefois et réciproquement, l'eau rafraîchissante est dans les tubes et la vapeur est extérieurement dans la bâche. Le condenseur à injection du premier système est presque exclusivement celui qu'on trouve aujourd'hui dans les machines fixes d'usines. Le condenseur à surface du second système, usité actuellement dans la marine, ne se rencontre qu'exceptionnellement dans les manufactures, bien qu'il puisse rendre des services importants quand les eaux destinées à la chaudière sont de mauvaise qualité, car le condenseur à surface n'est autre qu'un puissant alambic pouvant fournir en eau distillée à peu près la moitié de ce que demande la chaudière.

Si les condenseurs à surface multitubulaire sont rares dans les usines et manufactures, on voit souvent, au contraire, qu'on fait passer la vapeur d'émission dans un tube en cuivre mince plus ou moins développé et renflé, qui est immergé dans l'eau mise en réserve pour l'alimentation de la chaudière qu'on parvient ainsi à chauffer. A l'intérieur du tube renflé ou non, la vapeur se condense et on peut la recueillir comme celle de l'alambic; mais il importe de tout disposer pour éviter le retour de cette eau condensée dans le cylindre et bien se rappeler que cette décharge de la vapeur dans l'air, après avoir traversé ledit tube, ne constituera jamais une machine fonctionnant avec le vide, comme la machine à condensation réelle en chambre close, tubulaire ou non.

Dans les machines sans condensation, et par conséquent à échappement dans l'air, les usiniers ont parfois recueilli la vapeur dans un long tube qui traverse horizontalement l'atelier, avant le débouché au dehors, en vue de chauffer les locaux en hiver. Il est d'expérience que la vapeur émise dans ce long parcours engendre, par la résistance de frottement du fluide, une contre-pression dans le cylindre d'où résulte une diminution de travail moteur. On préfère prendre directement sur la chaudière, par un tube spécial, la vapeur voulue pour le chauffage des ateliers. Dans les contrées où les hivers sont longs et rigoureux, on voit des installations très-bien organisées dans ce but.

6° *Réglementation.* — Les organes usités dans la machine fixe pour vaincre les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

points morts et uniformiser la vitesse, quelle que soit la variation d'efforts à vaincre, sont le volant et le pendule. Le volant, grande roue rapide et pesante, a été assez bien étudié dans son principe, quoique les règles enseignées dans les traités soient encore d'une pratique peu facile. Quant à leur installation, elle est toujours dans la même enfance de l'art : ce sont encore les mêmes engins formidables dont la rupture fréquente ne manque pas de causer des désastres. La jante ou anneau est en fonte: souvent, dans les grandes machines, les bras sont en fer et rapportés. La jante est souvent tournée avec le bombement voulu pour servir de poulie à courroie de transmission et l'appareil constitue alors une poulie-volant. D'autres fois, la jante est taillée en dents ou du moins avec encoches ou vides pour recevoir ces dents de bois qu'on appelle *alluchons*, et on a une roue d'engrenage. L'Exposition a offert des spécimens importants de l'un et de l'autre système, ainsi que des exemples de machines à deux volants calés respectivement à chaque bout d'un arbre ayant au milieu ses manivelles actionnées.

Les pendules modérateurs ou régulateurs de vitesses sont également des organes bien connus basés sur l'action de la force centrifuge ou sur les oscillations du pendule proprement dit, la résistance de l'air, etc. Leurs agencements variés trouveront encore leur place naturelle dans le travail sur la détente déjà annoncé. On l'a remarqué à l'Exposition, l'introduction de vapeur et la détente se règlent automatiquement par les oscillations du pendule dans un grand nombre de machines. Ce n'est pas un principe nouveau, car il était, il y a vingt-cinq ans, adopté par Cavé, Meyer et autres ; mais il semble se généraliser en ce moment, en tous pays, par des combinaisons parfois très-compliquées et très-étudiées.

Les pendules à boules tournantes dits de *Watt* sont toujours en majorité. Celui à bielles croisées de Farcot et celui à boules équilibrées de Foucaud, Allen, Gérard, Porter, etc., ont été décrits de toutes parts. Il faut leur ajouter le pendule à anneau de Duvoir-Albaret et celui de Flaud, où les boules tournent dans un plan vertical autour d'un axe horizontal; enfin le régulateur à air de Larivierre : tous instruments très-connus, qu'il nous suffit d'énumérer, et on reconnaîtra que le pendule modérateur est un des organes de la machine qu'on a le plus travaillés, dans ces dernières années, en vue de rendre son action plus sensible et plus prompte, dès que la vitesse de la machine, en variant, tend à troubler le fonctionnement normal des métiers ou engins actionnés par le moteur.

7° Les *bâtis-supports*, ou l'assise proprement dite des machines fixes, obéissent d'abord à ce principe général, que, loin de les réduire à la plus grande légèreté possible, comme dans les machines sujettes à déplacement, on leur donne au contraire le plus de masse qu'on peut pour atténuer les secousses et vibrations. Le bâti, sur la longueur duquel sont distribués les organes de la machine, est un ensemble de supports sur une table ou un cadre, le tout solidaire, sinon d'une seule et même pièce de fonte. On connaît ces bâtis creux adoptés par Withworth dans ses *machines-outils* pour ateliers de construction. Ce même type de bâtis creux a reçu une fréquente application dans les machines fixes; mais on y trouve encore les bâtis en forme de bandes ou semelles reliées ou consolidées par des nervures. Trop souvent on y voit des moulures, découpures et ornement qui ne sont plus guère à la mode et qu'il faut éviter, car toutes ces cavités sont dans la pratique des nids à crasse et à cambouis, qui rendent difficiles le nettoyage et l'entretien. Les formes lisses sont plus rationnelles, et c'est à l'ensemble des proportions, ainsi qu'au groupement habile des organes, qu'il faut demander le bel aspect architectural que nous ne dédaignons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nullement et qui révèle l'homme de goût. A la dernière Exposition, beaucoup trop de machines fixes se sont présentées aux visiteurs avec un grand luxe d'ornementation.

Nous n'entendons pas exclure les colonnes et entablements qu'on adapte aux machines dont les supports principaux se dressent verticalement; on en fait particulièrement usage dans les machines à balanciers. Ici les moulures sont de l'essence même du type adopté; mais, fidèle au principe qui précède, on s'attache à reproduire les styles où les ornements sont moins tourmentés, tels que les ordres ionique et toscan. L'ordre corinthien, avec ses cannelures et son chapiteau aux feuilles d'acanthe, ne convient point aux machines, non plus que le style gothique dit *fleuri* ou *riche* et celui dit de la *Renaissance*. On peut enfin poser cette règle générale, que les formes architecturales ne conviennent qu'aux machines de première grandeur, où le caractère monumental est naturellement appelé.

Les paliers des bâtis, où portent et sont enchâssés les axes ou arbres de la machine, ont été très-étudiés depuis quelques années. On remarque qu'ils sont aujourd'hui plus fréquemment venus dans la masse à la coulée avec le bâti, plutôt que rapportés, en constituant une pièce spéciale, réglable et remplaçable ultérieurement s'il y a lieu. Le chapeau qui ferme le palier est tantôt horizontalement sur le haut ou bien par côté, soit verticalement, soit même obliquement. Les coussinets garnissant l'intérieur du palier, lesquels se sont faits longtemps presque exclusivement en deux pièces, l'une pour le dessus, l'autre pour le dessous, se font aujourd'hui souvent en trois ou quatre morceaux, dont on règle le serrage, suivant les besoins, à l'aide de cales ou vis ménagées *ad hoc* et qui permettent de remplacer partiellement la garniture usée.

8° Le *massif* en maçonnerie, sur lequel porte le bâti des machines fixes se construisait jusqu'ici en pierre de taille; c'était principalement à son défaut qu'on employait les madriers de bois et qu'on multipliait les masses de fonte daus le bâti lui-même. Un des faits remarquables de l'Exposition de 1867 a été la large application du *béton Coignet* (voir les fascicules 26 et 27, article de M. Paul) aux socles des machines de la plus grande dimension. Avec cette maçonnerie de sable et de chaux damée et moulée sur place, il n'y a pas de massif de machines à vapeur qu'on ne puisse construire à peu de frais, en ayant soin de ménager dans la construction les trouées destinées aux boulons de scellement qui doivent fixer le bâti sur son massif; on peut même poser les boulons en construisant, mais avec beaucoup de précaution, pour observer leur position, car, une fois en place, ils sont immobiles, sans qu'il y ait moyen de les enlever.

9° Les *accessoires de la machine à vapeur*, autres que ceux qui sont inhérents à la chaudière, peuvent se résumer à cinq, savoir : la soupape de sûreté du cylindre et du condenseur, les graisseurs, les robinets et tuyaux, les boulons et les indicateurs.

La soupape de sûreté, appliquée sur les plateaux ou couvercles des cylindres, bâches et réservoirs à vapeur, n'est guère en usage encore que dans les grandes machines de premier ordre. Elle a pour but d'empêcher moins l'excès de pression par accumulation de vapeur, que le résultat des chocs produits par accumulation d'eau. Elle est souvent disposée en même temps pour laisser rentrer aux heures d'arrêt l'air extérieur dans les bâches et récipients, où le vide est fait durant le fonctionnement de la machine, ce qui pourrait les exposer à être écrasés ou déformés par la pression du dehors, — ce dont il y a des exemples.

On remarque que ces soupapes sont généralemeut équilibrées, non par un contre-poids au bout d'un levier, comme dans la soupape classique des chau-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dières à vapeur, mais directement par un faisceau de lames de ressort. Tel est le type le plus usité, à l'imitation des machines marines où il a toujours existé ; mais, dans les usines, il ne paraît pas se répandre, malgré son utilité pour la préservation contre les ruptures.

Les graisseurs de paliers peuvent former deux classes : les boîtes à syphon et les paliers graisseurs. Les premiers sont des vases surmontant le palier et versant entre les pièces frottantes l'huile, goutte à goutte, au moyen d'une mèche de coton droit fil, qui baigne en plein dans le réservoir, et dont l'autre bout descend en un petit tube dit syphon, à proximité des surfaces frottantes, l'huile arrivant dans la mèche par le phénomène de la capillarité bien connu en physique. L'Exposition a offert des graisseurs de ce système à réservoir en cristal, dont on peut inspecter l'intérieur, et où le syphon est muni d'une petite tige régulatrice de l'écoulement de l'huile sans emploi de mèche : tel était le graisseur Lacout sur la transmission de mouvement de la section américaine.

Les paliers graisseurs sont devenus très en faveur non-seulement dans les chemins de fer, mais aussi dans les usines et manufactures, pour les axes qui tournent rapidement. Leur principe essentiel est de mettre l'axe tournant en plein dans l'huile, laquelle est dans un réservoir inférieur et constamment ramenée et versée à plein jet sur le tourillon par un artifice quelconque ; en général, une simple rondelle ou renflement du tourillon, qui entraîne l'huile dans son mouvement. Au palier Decoster [1], qui a eu longtemps son privilége, sont venus se joindre une multitude de systèmes qui en sont des variétés.

Le palier à eau de M. Piret, qui a été appliqué à l'Exposition, peut être rangé dans la même classe, et il opère par injection continue sur le tourillon, comme le palier Decoster et autres. L'eau n'est pas, à proprement parler, un enduit lubrifiant ; mais elle empêche le grippement du tourillon et des coussinets, lesquels prennent ensemble un poli magnifique, aussi favorable pour diminuer la résistance du mouvement que les meilleurs enduits.

Mentionnons encore le système où le tourillon frotte, non plus entre les coussinets classiques en bronze ou alliage doux, mais entre des boulets ou fusées, le tout baignant dans l'huile ou, comme précédemment, dans l'eau. Toutes les expositions ont présenté ces sortes d'agencement qui ne paraissent pas entrer dans la pratique, si ce n'est dans des cas particuliers.

Les graisseurs à vase clos en pression se placent sur le cylindre pour lubrifier le piston, sur la boîte de distribution pour y faciliter le glissement du tiroir ; en un mot, sur tous appareils clos, où des pièces frottantes peuvent gripper faute d'enduit. Sauf des différences de formes, cet appareil est toujours le classique double robinet avec réservoir intermédiaire : on remplit celui-ci, en fermant le robinet inférieur et en ouvrant celui du haut ; puis, pour faire descendre l'huile dans le vase clos en pression, on ouvre au contraire le robinet du bas et on ferme celui du haut, afin qu'il n'y ait pas de projection au dehors. Il y a des graisseurs self-acting ou automatiques, dont on remplit seulement le réservoir et d'où l'huile se distribue à temps voulu par divers artifices. Parmi ceux qui remplissent le catalogue de brevets, mentionnons les systèmes Delanoy et Ramsbotton, bien connus sur les chemins de fer et dont il y a des exemples sur les machines fixes.

La robinetterie des machines à vapeur est compliquée et en général posée sur place, suivant les localités. Les principaux robinets sont : l'introduction de va-

1. Nous n'entendons pas nous faire juge ici des débats de priorité dont le *palier-graisseur* a fait l'objet, et si nous le désignons sous le nom de Decoster, c'est qu'à tort ou à raison le type est connu sous cette dénomination.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peur au cylindre, l'introduction d'eau d'injection au condenseur, les robinets dits purgeurs, pour extraire l'eau accidentellement amassée et qu'il importe d'évacuer; enfin, les robinets de la pompe dite alimentaire, existant encore dans beaucoup de machines pour entretenir la consommation d'eau à vaporiser dans le générateur. Ces appareils affectent deux formes principales : ce sont des robinets proprement dits, dont le cône mobile dit *clef* tourne à l'aide d'un levier ou manette dans l'intérieur d'un autre cône fixe dit *boisseau*. Ces robinets se présentent toujours à nous au même état, avec leur grippement, leur fuite, leur usure rapide, leur moyen tout primitif de serrage, leur difficulté de manœuvrer, lorsqu'on les laisse longtemps sans emploi.

L'autre type de robinetterie consiste en un clapet, soit à soulèvement rapide au moyen d'un levier, soit à soulèvement lent et gradué par une vis que meut une poignée, un volant ou une manivelle.

La tuyauterie continue à se faire généralement en cuivre rouge. Les chaudronniers la multiplient et la contournent à plaisir, et il n'est pas rare qu'elle ressemble à un jeu d'orgues. Nous n'avons rien de plus à en dire.

10° Les *indicateurs*. — Le principal est le manomètre, qui accuse la pression de la vapeur; il appartient moins à la machine qu'à la chaudière, et nous nous bornerons à dire que le manomètre métallique à ressort et à cadran se substitue de plus en plus aux anciens manomètres à mercure. Mais longue serait la nomenclature des manomètres à cadran qui fourmillent en tous pays dans l'industrie. Ce sont toujours ou une petite pompe dont la vapeur refoule le piston, ou un petit vase en métal mince dont la pression change la forme, redresse la spirale, dilate la longueur proportionnellement à son excès sur la pression atmosphérique, laquelle ramène l'engin à son premier état, à mesure que la pression intérieure diminue. L'engin que sollicite ainsi la pression du dedans et celle du dehors porte une aiguille qui, par l'intermédiaire de tel ou tel mécanisme de transmission, trace des degrés sur un cadran. Ainsi sont combinés les manomètres de Bourdon, Vidi, Desbordes, Dubois, Dedieu, Breguet, etc.

L'indicateur du vide, qui indique l'abaissement de la pression dans le condenseur, est tout simplement la contre-partie du manomètre, ou, pour mieux dire, il continue le manomètre pour les pressions inférieures à celle de l'atmosphère, qui existent en vase clos et sont accusées en degrés plus espacés pour une lecture plus facile. Les agencements mécaniques et principes sont les mêmes : ils sortent, en général, des mêmes maisons de construction que les manomètres.

Les machines fixes ont souvent, en outre, un compteur du nombre de tours de volant, pour des nécessités de contrôle ou d'expériences : c'est un instrument de cabinet de physique dont nous ne pouvons pas plus parler ici que de l'indicateur de Watt ou de ces dynamomètres, appareils d'expériences à l'aide desquels on évalue, quand il est besoin, la force des moteurs. Quoique assez simples par eux-mêmes, ce sont des instruments de précision qu'il ne faut faire travailler qu'entre des mains exercées et qui n'appartiennent plus qu'accidentellement aux machines à vapeur. Des opérateurs spéciaux peuvent seuls faire ces expériences.

II

Classement des machines fixes des usines et des manufactures.

Les organes fondamentaux qui viennent d'être énumérés sont agencés et disposés suivant des types variés pour ainsi dire à l'infini, ce qui constitue les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

systèmes. Avant de les rechercher à l'Exposition et dans les usines pour complément, il convient de les passer en revue dans leurs généralités.

On distinguait originairement les machines à basse, moyenne et haute pression, suivant le degré de la pression de vapeur dans la chaudière. Les machines à basse pression ont à peu près disparu des usines et manufactures. Les pressions dites moyennes, de deux à trois atmosphères et les très-hautes pressions dépassant 6 atmosphères ou 5 kilogrammètres effectifs par centimètre carré de surface, ne se rencontrent que dans des cas particuliers. Actuellement, les machines ordinaires d'usines et manufactures fonctionnent sous une pression initiale de 5 à 6 atmosphères, avec détente, ce qui signifie que la vapeur n'est introduite que pendant une fraction plus ou moins réduite de la course du piston, après laquelle l'arrivée de la vapeur est interrompue, et le volume admis se détend comme un ressort bandé qu'on lâche, suivant les lois connues en physique sous les noms de Mariotte et Regnault, ainsi qu'il est démontré dans les traités.

En France, les machines fonctionnent généralement sous une pression initiale un peu plus élevée qu'en Angleterre et en Allemagne, où l'on se préoccupe plus que chez nous de l'inconvénient de fatiguer les assemblages et les joints, tandis que nous inclinons plus qu'eux, au contraire, vers ce principe, qu'il y a économie à élever les pressions initiales, en restreignant l'introduction et en utilisant la détente durant la plus grande fraction possible de la course.

Les machines fixes sont à condensation ou à échappement dans l'air libre. La préférence n'est plus qu'une question de circonstance locale et ce qui est dit ci-dessus, page 305, suffira. En général, les petites machines de dix chevaux et au-dessous sont à échappement dans l'air ; on ne les complique pas d'un condenseur et de ses accessoires, à moins qu'on y soit rationnellement amené par le faible prix de revient et la bonne qualité des eaux, la faculté de les écouler et le haut prix de combustible, la machine ayant au moins 6 chevaux de force.

La disposition des organes mécaniques est celle qui a donné lieu au classement le plus compliqué et le moins absolu, dès que l'on sort des principaux types caractérisés. Pour ces classements, on a considéré : 1° la position et le mode d'action du piston dans le cylindre ; 2° la composition élémentaire du mécanisme de transmission.

Le cylindre est vertical, horizontal ou oblique. Le cylindre vertical est tantôt en bas, sur la plaque de fondation, tantôt renversé et en l'air, comme une cloche ou comme le cylindre du marteau-pilon d'où est venu au type le nom de *machines en clocher* ou de *machines-pilons*. Le cylindre est encore fixé à demeure sur son bâti ou oscillant à l'aide de deux tourillons. Il y a des machines à un cylindre unique ; d'autres comportent plusieurs cylindres actionnant le même arbre moteur. Ils sont placés tantôt côte à côte, tantôt l'un faisant suite à l'autre, tantôt vis-à-vis.

Quant à la forme, outre le cylindre proprement dit, où travaille le disque plein appelé piston, il y a les machines à piston annulaire de Maudslay et de Bergsund. Il y a même eu des machines à piston rectangulaire, où le cylindre est remplacé par un corps rectangulaire à arêtes parallèles, nous ne savons trop dans quel but ; mais le fait existe, et des machines semblables fonctionnent depuis longues années. Enfin, dans les machines dites rotatives, il y a un tambour où jouent des palettes chassées par la vapeur.

Au point de vue du mécanisme de transmission, les machines à vapeur composent essentiellement quatre classes courantes :

1° Les machines directes oscillantes, les plus simples de toutes à l'égard de la transmission de mouvement du piston à l'arbre. Une longue tige plus ou moins guidée et une manivelle actionnant l'arbre de couche, telle est, avec le cylindre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui oscille sur son bâti, toute la machine, complétée néanmoins par les organes distributeurs et régulateurs communs à tous les systèmes. C'est en Angleterre que ce premier type, d'origine française, reçoit en ce moment ses plus nombreuses applications.

2° Les machines à cylindre fixe et à bielle directe entre la tige du piston et la manivelle motrice de l'arbre. C'est le système le plus en vogue en ce moment, surtout avec la disposition horizontale et un groupement des organes analogues à celui des locomotives de chemins de fer.

3° Les machines à bielles compliquées et multiples forment une classe nombreuse, où la variété est grande. Ce sont des types où le constructeur a voulu tout simplement se spécialiser par une disposition qui lui fût propre, ou bien des systèmes adoptés à des cas particuliers.

4° Les machines à balancier. Ces vieux types, connus sous les noms de Watt et de Woolf, dès l'origine de la machine à vapeur, sont encore regardés par des manufacturiers et des ingénieurs comme les seuls systèmes convenables aux usines où l'uniformité du travail moteur est une condition essentielle. Ils possèdent une rondeur de marche, une stabilité, un équilibre des organes auxquels atteignent plus difficilement les autres systèmes ; mais ils sont spacieux, compliqués, encombrants, lourds et très-dispendieux, tant par la construction que par l'installation.

Entre tous ces systèmes, quel est le préférable ? Telle est la question que se posaient les visiteurs de l'Exposition de 1867, à la vue de tant de machines dont très-peu se ressemblaient, et telle est la question qu'on nous fait tous les jours ; car on ne comprend pas que tant de solutions puissent résoudre également bien un problème mécanique dont les éléments sont des lois de la nature et des vérités mathématiques : d'où l'on serait tenté de conclure que, puisque tant de machines à vapeur actionnent des engins analogues à l'égale satisfaction de ceux qui les possèdent, les lois qui servent de bases à l'industrie manufacturière sont inexactes ou tout au moins incertaines.

Nous dirons, nous, que les lois formulées par les maîtres de la science et vérifiées tant de fois, ne doivent pas être écartées comme inexactes, bien que l'homme puisse rarement affirmer qu'il possède la vérité absolue ; mais il faut remarquer que, lorsque la science formule une loi, on a soin d'aller droit au principe, en l'isolant de l'influence de toutes les autres lois qui pourraient concourir dans le même phénomène : c'est ce qu'on appelle la théorie. Au contraire, dans la pratique, il n'y a pour ainsi dire jamais de principe isolé. Dans la nature, tout est complexe ; tout phénomène, traduit à nos sens par un fait, offre en concours et même en opposition une multitude de lois ou de principes qui donnent pour ainsi dire une résultante. Or, les éléments de cette résultante peuvent varier à l'infini et ne sont même pas toujours susceptibles d'analyse.

Les matériaux dont la substance est elle-même si complexe et parfois si mystérieuse, les conditions atmosphériques et celles de la température, les actions physiques, les réactions chimiques, les combinaisons de forces, etc., modifient de toutes manières la solution des problèmes mécaniques. Telle est la raison de tant de systèmes de machines fonctionnant bien dans les circonstances où elles se trouvent, parce que l'ingénieur a su les assortir aux circonstances, et telle est aussi la raison de l'insuccès de ces mêmes machines transplantées dans d'autres conditions de service.

Il faut ajouter que l'habitude (nous n'osons pas dire la routine) peut expliquer certaines préférences locales. La machine qu'on rencontre dans tel ou tel groupe d'usines y est bien connue ; bien *dans la main* des ouvriers du pays appelés successivement à la conduire, l'expérience en a corrigé les défauts inévitables par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ces mille riens qui échappent dans un ensemble de fabrication, après avoir donné peu à peu la vie à tous les rouages d'une industrie.

A la vue de toutes les machines à vapeur de l'Exposition, il ne faut donc pas se poser cette question : quelle est d'une manière absolue la meilleure? Il faut bien rechercher les conditions à remplir par le moteur, ainsi que toutes les circonstances de son service et se demander si la machine qu'on a sous les yeux est apte à remplir ces conditions, apte à obéir à toutes ces circonstances locales. Dans cet ordre d'idées, presque toute l'Exposition a eu son intérêt.

Mais il est une condition générale, à défaut de laquelle la plus ingénieuse machine à vapeur ne fournira que des déceptions : c'est une construction solide, soignée et en matériaux de choix. Toute lésinerie à cet égard, ainsi que dans l'installation, vérifiera une fois de plus la maxime « que rien n'est coûteux comme le bon marché. »

Au point de vue de l'exécution, les plus difficiles ont généralement été satisfaits de l'Exposition de 1867. On a pu en conclure qu'on construit bien presque en tous pays, quand on veut et quand on paye. Le caractère propre à chaque nation et à chaque constructeur ne se révèle plus guère que dans des formes de pièces et dans certaines agrégations d'organes; et si on nous demande où doit se porter principalement notre étude de l'étranger, nous dirons, comme pour les locomotives, qu'il faut aller chercher principalement en Allemagne les machines bien étudiées, élégamment groupées, originalement disposées et construites avec perfection ; mais c'est en Angleterre qu'on trouve les solutions les plus simples.

Étant donné ce principe, qu'à chaque industrie convient un moteur spécial, ou du moins installée dans des conditions spéciales, il reste à étudier quels sont les types que chaque classe d'usine ou manufacture adopte de préférence en ce moment. A cet égard, les enseignements de l'Exposition de 1867 sont à peu près complets, si on ajoute aux machines les dessins qui les ont accompagnés.

Quelque variés que soient les établissements industriels, on peut cependant les ramener à six groupes principaux, en ce qui concerne leur moteur.

1° Machines élévatoires d'eau pour les villes, les mines ou pour les ateliers;

2° Pompes à air dites aussi souffleries ou machines soufflantes ;

3° Machines d'usine à travail brutal, c'est-à-dire actionnant des engins qui font des opérations grossières, accompagnées plus ou moins de violentes secousses, tels que le pilonage, le gros façonnage des métaux dans les usines métallurgiques, l'écrasement des pierres, etc. La machine des laminoirs de forges peut être prise pour type.

4° La machine de précision actionnant dans les manufactures les engins délicats dont le travail doit être fini et régulier, tels que les métiers à tisser, à filer ou à imprimer; les moulins à farine, les outils d'ateliers de construction. Le moteur de filature est pris pour type de cette classe de machines.

5° Les machines de monte-charges sont intermédiaires, comme données du travail entre les deux classes précédentes; mais elles ont leurs agencements spéciaux, notamment la faculté de renverser à volonté la marche de la machine. Le moteur d'extraction des mines est pris pour type.

6° La machine dite demi-fixe des petits ateliers dont l'agencement rappelle les locomobiles.

Les principaux types usités en ce moment dans chaque classe vont être énumérés; mais il sera besoin d'en sortir et d'aller dans les usines et ateliers pour y compléter la recherche des tendances actuelles de l'industrie, car nous avons pu nous procurer difficilement nos renseignements à l'Exposition même.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° Machines élévatoires d'eau ou d'épuisement.

(Planche 114.)

Elles ont deux destinations principales : 1° sur le terrain des mines elles enlèvent les eaux accumulées au fond des galeries d'extraction, parfois à des profondeurs de 500 mètres et plus; on leur donne en particulier le nom de *machines d'épuisement* : on peut leur assimiler les pompes d'épuisement des cales de radoub dans les ports. 2° Pour l'alimentation et le service municipal des villes, elles pompent les eaux d'une rivière ou d'un puits, et elles les élèvent dans un réservoir d'où elles se répandent dans la cité. Les usines et manufactures ont aussi souvent leur machine élévatoire, et il en existe aux stations des chemins de fer, où les tenders de locomotives renouvellent leur provision d'eau pour la route.

Les machines à vapeur élévatoires ou d'épuisement atteignent souvent dans les mines et les grandes villes des puissances de premier ordre; celles de 500 chevaux ne sont pas rares. Dans les stations de chemins de fer, la force varie de deux à dix chevaux, selon les localités et les besoins de service, sauf lorsque l'eau est éloignée ou notablement en contre-bas du réservoir situé en gare. Sur le chemin de fer de l'Est, les grandes gares ont des machines ordinaires de six chevaux; dans les petites gares de passage, elles sont de deux chevaux seulement. Quelques-unes, qui refoulent l'eau à plus de 15 mètres de haut et à plus de 500 mètres de distance, ont six chevaux, et il en existe une à Chaumont qui élève par 24 heures 300 mètres cubes à 72 mètres de hauteur sur 660 mètres de parcours.

Il va être donné, d'après l'Exposition et les ateliers, divers exemples de machines élévatoires ou d'épuisement applicables aux principaux cas; mais il sera sans doute intéressant de résumer ici les discussions animées qui ont eu lieu sur l'alimentation des villes en général, et en particulier sur celle de la ville de Paris, qui a été l'objet de si vifs débats dans le public. Les conclusions peuvent se formuler ainsi qu'il suit :

1° Un service hydraulique largement installé doit fournir en moyenne 170 litres d'eau par habitant et par 24 heures, usages domestiques et besoins généraux de la commune compris. Au-dessous de 100 litres, la pénurie commence.

2° Quand il s'agit de fournir aux besoins d'un service hydraulique de modeste importance, par exemple pour une population de 50,000 âmes, la solution la plus rationnelle est de recueillir les eaux naturelles des sources qui ne sont pas très-éloignées, si elles offrent les qualités convenables à l'alimentation, et de les amener au réservoir municipal par des canaux, aqueducs ou conduits qui ne réclament pour ainsi dire aucune surveillance, et, en tous cas, pas de ces dépenses quotidiennes propres aux machines.

3° A défaut de bonnes sources voisines, on recourt aux rivières à proximité, dont on élève les eaux, d'abord par des machines hydrauliques, s'il y a courant suffisant ou possibilité d'établir des chutes.

4° Comme dernière ressource, viennent les machines à vapeur, qui imposent une dépense quotidienne de combustible comme élément de la force motrice. Nous ne parlerons pas des dépenses d'entretien et de réfection, les machines hydrauliques et même les aqueducs ont les leurs.

A Metz, ville de 50,000 âmes, on a récolté sur les hauteurs, jusqu'à 14 kilomètres de distance, plusieurs sources d'eau, et elles arrivent, à l'exclusion de toute machine, par un aqueduc souterrain au magnifique réservoir municipal

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

construit sur le point culminant de la cité ; mais il a été établi une machine à vapeur de huit chevaux pour le chemin de fer qui possède à Metz même et à Montigny-lez Metz des ateliers, dépôt et gare de premier ordre, consommant environ 180 mètres cubes d'eau par jour refoulés à 25 mètres de hauteur sur 2,100 mètres de parcours développé.

Manchester, ville d'un demi-million d'habitants, n'a de même que des eaux d'aqueduc pour tout son service municipal.

A Lyon, une triple machine à vapeur, système du Cornwall, à cataracte, est établie sur la rive du Rhône, en amont de la ville. Après avoir traversé un bassin de filtrage, les eaux sont refoulées dans plusieurs réservoirs à divers niveaux, dont l'un est élevé sur un échafaudage en fer très-curieux.

A Genève, ce sont également les eaux du Rhône, à la sortie du lac, qui sont élevées, mais par des turbines hydrauliques mues par la chute formidable qui existe au débouché du lac. Pour Versailles, on a fait à Marly une gigantesque installation de roues à aubes, et la célèbre pompe à feu ne fonctionne plus. Berlin, Leipsick, Chicago, et parmi les villes moindres, Angers, Cambrai, Melun, Vichy, Nantes, Saint-Germain, etc., ont des machines à vapeur. Paris a depuis longtemps des eaux de toute provenance : des puits artésiens, les aqueducs d'Arcueil, le canal de l'Ourcq, les pompes à feu de Chaillot (renouvelées en 1853), du Gros-Caillou (détruite), de Charenton, Grenelle, Clichy, ont devancé les fameuses discussions sur la Dhuis, la Somme-Soude, la Vanne et la Loire. Enfin, depuis ces mêmes débats qui semblaient avoir fait sortir une conclusion absolue en faveur des eaux venues naturellement par canalisation, on a établi la machine à vapeur de Bercy et la machine hydraulique de Saint-Maur-sur-Marne, tant il est vrai que pour les capitales de premier ordre il ne peut y avoir de solution absolue et qu'il faut fournir les eaux par tous les moyens combinés.

C'est aussi ce qui existe à Londres. Le lecteur peut étudier dans un ouvrage de M. Spon, publié en 1867, et dans *Engineering* de l'année 1866, numéro de septembre à novembre [1], l'histoire détaillée des *water-works* de cette immense cité de 3 millions d'habitants répandus sur 130 milles carrés de surface, que traverse un grand fleuve et qui a les vastes bassins de ports qu'on connaît. Un résumé de ces *water-works* suffira ici.

La principale consommation de Londres est de 476 millions de litres par jour, dont moitié environ est fournie par une petite rivière des environs, la Lea, qui se jette à Blackwal ; le reste provient de la Tamise. Ces deux rivières, dont les flots dorés chantés par les poëtes anglais répondent à une si singulière hyperbole, ont la propriété d'être très-faciles à clarifier par un filtrage même grossier ; elles sont d'une bonne qualité pour l'alimentation, et autant elles sont impures dans la ville, autant elles sont limpides en amont, presque à leur entrée. Les *water-works* (usines hydrauliques) sont très-disséminés et nombreux. Ils appartiennent, paraît-il, à huit compagnies privées ; la principale, la New-River Ce, qui remonte à 1609, fournit les deux tiers de Londres. Partie des eaux vient de source par un canal long d'environ 50 kilomètres, partie par des machines élévatoires diverses au nombre de neuf.

Les machines à vapeur employées à Londres appartiennent pour ainsi dire à tous les systèmes, depuis celui dit de Cornwall, à cataracte, jusqu'au type horizontal à rotation continue, telle que la récente installation monumentale d'Abbay mills station, par Bazalgett, qui comprend huit machines de Watt, à cylindre de $1^{m}.35$ de diamètre sur $2^{m}.70$ de course, actionnant chacune deux pompes à double effet, avec 12 chaudières longues de 12 mètres, sur $2^{m}.40$ de

1. Voir l'analyse dans les *Annales du Génie civil*, numéro d'août 1868.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diamètre (voir l'*Engineer* de 1867). Paris a des machines à cataracte, comme Lyon, et des machines à balancier à mouvement rotatif.

En résumé, les types adoptés pour les machines élévatoires ou d'épuisement peuvent se classer ainsi qu'il suit :

1° *Machines à cataracte* dites du Cornwall (*Cornish engine*), à pompe actionnée par l'intermédiaire d'un balancier. Leurs particularités constitutives sont, d'abord, la distribution de vapeur au cylindre opérée par cames et clapets spéciaux, lesquels sont mus et réglés par le jeu d'une masse d'eau constituant la cataracte. La seconde particularité de ces systèmes est l'intermittence de l'action du piston dit à simple effet, qui n'est ordinairement pressé par la vapeur que pour élever l'eau ; des contre-poids ramènent le tout au point de départ et réciproquement. La troisième particularité est l'absence du volant régulateur, ainsi que du pendule à boules et, par suite, absence de bielle, manivelle et arbre employés dans les machines dites à rotation.

Appartiennent au système du Cornwall proprement dit beaucoup de machines d'épuisement de mines, et, parmi les pompes élévatoires de villes, celles de Chaillot-Paris, Saint-Clair-Lyon, Horschey-Londres. Les deux premières sont décrites en détail, avec plans, dans des publications spéciales. La machine d'Horschey possède un cylindre de $1^m.10$ de diamètre sur $2^m.74$ de course ; la pompe élévatoire a un plongeur de $0^m.38$ sur $2^m.74$ de course. L'eau qu'il envoie est reçue dans un immense bassin filtreur. (Voir l'ouvrage de M. Spon, sur les eaux de Londres.)

La figure 1 de la planche 114 représente une machine d'épuisement de mines, construite par Harvey : c'est le système réduit à sa plus simple expression. A l'extrémité du balancier opposée à celle que la tige de piston actionne pend la longue bielle en bois armée de fer qui va actionner la pompe élévatoire jusqu'au fond du puits. Quand celui-ci est très-profond et que la bielle a, par suite, un poids considérable, elle est équilibrée par un balancier à contre-poids placé à un point quelconque de la hauteur du puits ; il y a même parfois plusieurs batteries de pompe, réservoirs à déversage, bielle et balancier d'équilibre étagés à diverses hauteurs. On remarque sur la figure qu'une forte muraille élevée au droit de l'orifice du puits porte le balancier. En arrière, le cylindre et le distributeur à clapets sont abrités dans une chambre ; en avant et au dehors, sont le condenseur, sa pompe, plus la pompe alimentaire ensemble dans une bâche, ainsi que la grande bielle. En résumé, ce qui particularise la machine d'épuisement de mines est que le moteur, très-éloigné des pompes, est placé au débouché des eaux. La machine élévatoire proprement dite des villes est au contraire, en général, placée presqu'à l'origine de la prise, et elle est suivie d'un long conduit de refoulement, la pompe et son moteur étant sous la même main.

2° *Machines à cataracte* actionnant directement la pompe par le prolongement de la tige du piston sans balancier proprement dit. Ce type, très en faveur en Belgique et en France pour les mines, est aussi celui qui a été adopté pour la machine élévatoire de la ville de Leipsick, en Saxe, qui vient d'être construite sur les plans des ingénieurs anglais Grissel et Thomas, aux ateliers de la Compagnie des constructions maritimes de Hambourg et Magdebourg : c'est celle que représente la figure 4, planche 114.

Le programme était de fournir par tête et par jour, en tout 7924 mètres cubes à $34^m.50$ de hauteur, dans un réservoir de 4556 mètres cubes, par un tube de $0^m.46$. On devait prendre l'eau d'une source voisine désignée, par un puits de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

12 mètres. Le marché devait comprendre toutes les installations, y compris le parc à combustible et les habitations des gens de service; le tout a coûté 2,750,000 francs. Il a été établi deux machines semblables, mais distinctes, dont une seule travaille : elle est à simple effet, à traction directe, cylindre renversé, enveloppé d'une chemise de fonte avec vapeur entre deux, le tout recouvert d'une seconde enveloppe en bois poli. Deux cataractes sont installées : l'une pour la soupape d'entrée, l'autre pour la soupape d'émission. Le balancier qui actionne la pompe à air du condenseur et la tringle des clapets est en fer. Chaque machine a une pompe élévatoire en dessous, dans le puits, avec un énorme réservoir d'air dans un appenti voisin. La vapeur est fournie par les chaudières à double galerie dite du Lancashire. La fumée s'écoule dans un carneau annulaire et transversal, en tôle, qui sert de chauffeur d'eau alimentaire. Toute cette installation est en contre-bas du cylindre. Suivent les principales dimensions :

Cylindre, 1m.22 sur 2m.44 de course; pompe élévatoire, 0m.532 sur pareille course de 2m.44 ; pompe à air du condenseur, 0m.610 sur 1m.06 de course. Les chaudières placées dans un bâtiment attenant à celui des machines ont 9m.72 de long sur 2.13 de diamètre. Chacun des deux tubes intérieurs a 0m.812 de diamètre, d'où la grille a pareillement 0m.812 de large sur 1m.82 de long. On peut voir la description détaillée avec dessin dans l'*Engineering* de 1868, t. II, page 56, notamment pour ce qui regarde la pompe élévatoire.

Pour l'épuisement des mines, le même type a reçu de nombreuses applications en Belgique, dans le nord et le centre de la France et en Angleterre. On peut voir, dans l'*Engineer* du 12 octobre 1866, la machine de 250 chevaux, d'Harvey. Elle est pour ainsi à quatre étages : au sommet est le cylindre à vapeur, à la naissance du puits; au-dessous, le condenseur et sa pompe à air ensemble dans nne bâche d'eau froide; plus bas est le balancier équilibrant la grande bielle qui pend, dans le puits, de la tige du piston et qui manœuvre la tringle motrice des clapets de distribution ; enfin, au fond du puits est la pompe élévatoire des eaux accumulées dans la mine et qui sont refoulées au dehors dans le conduit *ad hoc*.

Un spécimen analogue est donné dans les fascicules 21 et 22, planche 119 des *Études sur l'Exposition*, article de M. Soulié, sur les mines : c'est la machine de Fiennes (Pas-de-Calais) construite par M. Quillac; les dessins étaient au palais du Champ de Mars. Elle est une des plus considérables qui existent; sa force est estimée 620 chevaux, avec quatre cylindrées seulement par minute. Le cylindre à vapeur a 2m.60 de diamètre et 4 mètres de course; la pompe élévatoire a 0.60 de diamètre sur pareille course de 4 mètres; la pompe à air du condenseur a 0m.90 de diamètre sur 2 mètres de course.

Le même constructeur a fourni un appareil analogue pour les mines d'Elswich, en Angleterre, mais moins puissant. Pour une force nominale de 100 chevaux, le cylindre moteur a 1m.02 de diamètre sur 2.44 de course, donnant 6 cylindrées par minute, sous 6 atmosphères de pression.

3° *Machines à cataracte mixtes.* Une solution intermédiaire, quant à la position des pompes élévatoires, nous est offerte dans la fig. 2, pl. 114, qui représente l'appareil récent de *Brookling water-works*, en Amérique, l'un des plus considérables qui existent. C'est essentiellement une machine de luxe ornée d'un style gothique comme les villes se les permettent, sauf à multiplier les frais de nettoyage. Le système Hubert, en France, offre avec elle de l'analogie, au moins par l'agencement général des deux pompes. Le programme imposé et réalisé de la machine de Brookling est celui-ci : élever 600,000 litres d'eau à 1 pied de hauteur par livre de charbon brûlé et 36 millions de litres en 16 heures au réservoir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

situé à 50 mètres en contre-haut. Le cylindre à vapeur a 2m.27 de diamètre sur 3m.12 de course; le condenseur a une capacité égale au tiers de celle du cylindre; les pompes élévatoires ont 1m.06 de diamètre, sur 3m.12 de course; l'appareil donne 10 coups par minute; le balancier, découpé à jour et probablement fretté en fer, suivant la mode américaine, a 11 mètres de long, 2m.20 de hauteur au milieu. La machine est accompagnée de trois générateurs cylindriques avec galeries en retour; elles ont 9m.12 de long sur 2m.44 de diamètre.

4° *Machines de Watt.* Ce type, bien connu, appliqué comme machine élévatoire, ne diffère de celui qui est devenu classique dans les usines que par l'addition de la pompe, laquelle est mue directement par le balancier et placée sous lui, sur le bâti, en un point quelconque. Nous prendrons pour exemple la machine des *Stoknewington water-works*, regardée comme une des plus belles installations de Londres. Il existe cinq bassins filtrants à sable marin, dont le lit, épais de 1m.22, est lavé chaque six semaines en hiver et chaque trois semaines en été. Six machines à balanciers d'une force collective de 1000 chevaux nominaux sont accouplées deux à deux, par paire, aux extrémités d'un même arbre portant le volant. Dix-huit chaudières fumivores fournissent la vapeur; on y prévient l'incrustation par des bûches de chêne. Cette gigantesque installation est complétée par un atelier de réparation, dont les machines-outils sont actionnées par une turbine que meut la chute des eaux de condensation. Des six machines, quatre appartiennent au système de Woolf et sont fournies par Simpson; les deux autres, nommées le *lion* et la *lionne*, sortent des ateliers de Watt, à Soho : ce sont celles décrites ici et auxquelles se rapporte la figure 3 de la planche 114.

Deux machines jumelles sont accouplées aux deux bouts d'un arbre de couche commun qui porte le volant également commun. Chaque machine actionne une pompe élévatoire placée sous le balancier, un peu en arrière du point extrême où s'attache la grande bielle motrice de l'arbre à volant. La distributton de la vapeur au cylindre se fait par cames et clapets donnant une introduction durant deux septièmes de la course du piston. Le cylindre à vapeur est pourvu d'une chemise-enveloppe; le rendement utile a été trouvé de 83 p. 100. On remarquera les bielles de pompe et du volant, dont le corps accoutumé est renforcé par un groupe de tiges accessoires à la manière des poutres dites armées.

A Chicago a été établie une nouvelle pompe élévatoire appartenant au type de Watt, mais différente de la précédente, en ce que la pompe est sous le cylindre à vapeur et actionnée par sa tige prolongée, comme dans les systèmes directs n° 3 ci-dessus. L'appareil sort de l'atelier des forges de Quinster, à New-York. Deux machines jumelles sont installées côte à côte, avec allée séparative, dans un bâtiment dont la forme en rotonde est inusitée. Suivent les principales dimensions : cylindre, 1m.10 de diamètre sur 2m.43 de course; pompe élévatoire, 0m.70 sur pareille course de 2m 43; tige de piston, 0m.120 de diamètre; diamètre de l'arbre, 0.304; volant commun en fonte ayant 7m.30 de diamètre, avec huit bras en fer rond, attaché sur tourteau central de 1m.52; balancier en fonte de 5m.47 de long sur 1.22 de hauteur; son axe est porté sur un entablement à quatre colonnes d'ordre toscan qui ont 4m.60 de haut sur un diamètre de 0m.3300,46; condenseur cylindrique en fonte ayant 1m.22 de diamètre et 2m.45 de haut; pompe à air, 0.78 de diamètre sur 1.60 de course; générateur d'un type multitubulaire spécial ayant 10 mètres de long sur 3.04 de diamètre, 165 mètres carrés de surface de chauffe, 6mq.44 de grille et travaille sous 3 1/2 atmosphères de pression effective. Cette installation a pour but d'élever 18 millions de gallons à 37 mètres en 24 heures.

5° *Machines de Woolf.* Ce système est bien connu et caractérisé par la détente

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la vapeur successivement dans deux cylindres, en vue de la plus grande économie possible du combustible. Il est analogue au précédent système de Watt, en ce qui concerne l'actionnement des pompes élévatoires. Le troisième groupe des machines du *Stoknewington water-works* appartient au système de Woolf et a été construit par Simpson. (Voir le *Mechanical Engineer* de 1862.) Les cylindres à vapeur ont, savoir : le petit, 0m.70 de diamètre et 1m.685 de course; le grand, 1m.18 de diamètre et 2m.43 de course. La pompe élévatoire a un plongeur de 0m.50 sur 1m.80 de course ; l'introduction de vapeur est 0m.25 de la course du petit cylindre. Les dispositions de la marche sont les mêmes que celle de Watt qui précède, moins les bielles armées.

La machine municipale de Farcot, installée à Ivry-Paris, appartient aussi au système de Woolf. Les plans qui ont figuré à l'Exposition de 1867 sont aujourd'hui au Conservatoire des arts et métiers.

A l'Exposition, la machine élévatoire du service des eaux, établie par Scott sur la berge de la Seine, appartenait aussi au système Woolf. Deux machines jumelles actionnaient chacune une paire de pompes à gros plongeur à simple effet, qui, étant à égale distance du balancier, se faisaient équilibre. Une colonne portait le balancier, comme dans la machine de Powel et de Sigl. Chaque machine de Scott avait la force de 25 chevaux nominaux donnant 75 chevaux effectifs de 75 kilogrammètres pour 25 tours de volant par minute. Les cylindres avaient, savoir : le petit, 0m.324, et le grand, 0m.642 de diamètre sur 1m.50 de course; les pompes élévatoires avaient 0m.460 de diamètre sur 0.435 de course.

6° *Machines horizontales directes.* Ce type, très en faveur, est caractérisé par la présence, sur un même bâti, du cylindre à vapeur et de la pompe élévatoire, placés l'un en prolongement de l'autre, ayant une tige de piston commune qui relie les deux pistons. Un volant régulateur, plus les arbre, manivelle et bielle qui l'actionnent complètent généralement l'appareil. Plusieurs des *water-works* de Londres ont des machines de ce système, en général construites par Harvey. La figure 8 représente celle de Crayford, dont voici les dimensions fondamentales : cylindre à vapeur, 0m.60 de diamètre sur 1.22 de course ; pompe à air simple effet du condenseur et verticale 0.150 de diamètre sur 0.48 de course ; volant, 3.04 de diamètre et poids, 3 tonnes; diamètre d'arbre, 0.15 ; condenseur à surface, dans une citerne, composé de 100 tubes ayant 0.05 de diamètre ; pompe élévatoire horizontale, 0.406 de diamètre sur 1.22 de course ; hauteur de colonne d'eau, 91 mètres. La machine est desservie par deux chaudières cylindriques de 9m.220 sur 4.83 de diamètre.

7° *Machines horizontales à engrenage.* La figure 7 représente un spécimen de ce type très-répandu pour les petites villes et les grands chemins de fer. La machine à vapeur proprement dite actionne un pignon qui, lui-même, meut par l'intermédiaire d'une roue à alluchons de bois un arbre coudé en manivelle, qui commande la pompe élévatoire verticale placée dans le puits sous la machine. Voici les dimensions fondamentales d'un appareil fort de 4 chevaux construit par M. Dyckoff, de Bar-le-Duc, en usage sur le chemin de fer de l'Est : cylindre à vapeur, 0m.220 de diamètre sur 0.440 de course; 5 atmosphères de pression initiale; introduction de vapeur durant un tiers de la course ; 45 tours par minute ; diamètre du volant, 2m.66 ; pignon en fonte à 26 dents et 0.330 de diamètre ; roue à 78 alluchons de cormier, 0.990 de diamètre ; manivelle de pompe, 0.250 ; pompe élévatoire d'eau, 0.205 de diamètre sur 0.500 de course. La pompe alimentaire de la chaudière est accolée au cylindre ; elle est actionnée directement par la traverse guidée de la tige du piston et elle aspire l'eau dans un bac

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

situé auprès du bâti de la machine. La chaudière est composée d'un corps principal avec un bouilleur unique inférieur.

8° *Machine pilon à engrenage.* Ce système, où le cylindre renversé est élevé sur un bâti à colonnes, à l'imitation du marteau-pilon, est tellement en faveur dans l'industrie qu'il ne pouvait manquer d'entrer dans la classe des machines élévatoires. La figure 6 représente l'appareil qui a été projeté par Wilkins pour le service hydraulique municipal de Norwich, en vue d'élever 11,400 litres d'eau par minute par un tube de 0m.45 de diamètre sur 2,500 mètres de long, s'élevant par inclinaison à 44 mètres de hauteur. A ce projet fut préféré celui de trois machines à balancier proposé par Clayton, mais la machine Wilkins a reçu son application, paraît-il, dans l'industrie privée et son système a rencontré parmi les ingénieurs anglais beaucoup de sympathie. Deux machines distinctes sont installées dans le même bâtiment ; les engrenages actionnant les pompes sont dans le rapport de 1 à 3 ; le cylindre à vapeur a 0m.609 de diamètre et 1m.06 de course ; ils n'ont pas de chemise de vapeur ; les colonnes du bâti ont 0m.304 de diamètre, elles sont creuses et reçoivent la vapeur d'échappement ; un tuyau qui les traverse contient l'eau alimentaire qui est chauffée à son passage ; au pied des colonnes est le condenseur avec pompe à air à simple effet. La tige de piston est guidée non par des glissières, mais par un parallélogramme ; la distribution est à tiroir avec autre tiroir superposé pour la détente. Sur chaque machine deux pompes ont une course commune de 0m.914 et elles donnent 15 coups, la machine en donnant 45.

Les deux machines sont desservies par deux chaudières à galeries intérieures, du Cornwal, ayant 6 mètres de long sur 1m.90 de diamètre, fonctionnant sous 4 atmosphères effectives de pression.

9° *Machine verticale directe.* La fig. 5 représente un spécimen de ce type construit par MM. Lebrun et Levêque, à Creil, et installé à Vichy, Melun, Cambrai, etc., pour l'alimentation du réservoir municipal. L'appareil est à haute pression, détente variable par le pendule modérateur et à condensation. Il est agencé pour ainsi dire à deux étages : en haut, à fleur de sol, est la machine à vapeur proprement dite. Une paire de montants à colonne élevés sur la plaque de fondation portent l'arbre du volant. D'un côté est le cylindre à vapeur actionnant ledit arbre, de l'autre est la pompe à air, dans le corps même du condenseur ; elle est mue par une manivelle calée à l'autre bout du même arbre. Les tiges du piston à vapeur et du piston de la pompe à air traversent le fond de leur cylindre respectif et descendent dans le sous-sol ou étage inférieur de l'appareil, actionnant directement deux pompes élévatoires à simple effet, qui ont en commun le tuyau de prise d'eau et le tuyau de refoulement. Suivent les principales dimensions : force nominale, 16 chevaux ; piston à vapeur, 0m.45 de diamètre sur 0m.50 de course ; pression de vapeur, 4 atmosphères, introduction durant deux cinquièmes de la course ; capacité de pompe élévatoire, 25 litres, qui, à Vichy, sont refoulés à 23 mètres de hauteur sur 600 mètres de parcours.

On peut ajouter à ce type un spécimen de petite pompe élévatoire de la force de 2 chevaux, dont on fait usage dans les petites stations du chemin de fer de l'Est. Qu'on se représente la machine précédente réduite à son seul étage supérieur, la pompe à air avec le condenseur étant supprimés et remplacés par la pompe élévatoire. Suivent les principales dimensions : piston à vapeur, 0m.16 de diamètre sur 0m.458 de course ; pompe élévatoire, 0m.100 de diamètre sur pareille course ; 70 tours par minute ; 6 atmosphères de pression ; longueur de bielle, 0m.58 ; diamètre du volant, 1m.50 ; diamètre de l'arbre, 0m.091 ; table de fonda-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion, 1m.46 sur 0.95 ; hauteur des montants, 1m.34. La chaudière accompagnant la machine est un simple corps cylindrique surmonté d'un dôme réservoir et enfermé dans un fourneau de brique, à un seul conduit de flamme, avec cheminée de tôle sur socle de brique et pierre.

II. — Soufflerles.

(Planche 149.)

Les pompes à air ou machines soufflantes qui accompagnent les hauts fourneaux dans les forges appartiennent en premier ordre à la grosse mécanique, plus robuste que délicate. Ce qui caractérise essentiellement ces appareils est l'addition à la machine à vapeur proprement dite d'un gros cylindre soufflant qui aspire puis refoule l'air dans le fourneau par des conduits. L'ensemble du système a été très-varié. On peut d'abord former deux classes principales, savoir : 1° soufflerie à ample et lente marche, où les clapets à air et cylindre soufflant s'ouvrent et se ferment d'eux-mêmes par la pression de l'air; 2° soufflerie dite à grande vitesse, qui donne de 40 à 60 coups de piston à la minute, tandis que les autres donnent de 12 à 20, et dont les passages d'air au cylindre soufflant sont fermés par des tiroirs glissants que meut la machine. Ce dernier système, dit de Thomas et Laurens, est représenté dans l'industrie par des spécimens importants. Les forges du Creusot ont depuis quinze ans une triple soufflerie à grande vitesse et à tiroirs, dont l'agencement général rappelle celui des machines marines horizontales. L'autre système est plus généralement adopté. La planche 149 résume les principales dispositions connues. On peut les distinguer en trois classes : soufflerles à balancier (fig. 1 à 3), soufflerles verticales directes (fig. 4 à 7) et soufflerles horizontales directes. On pourrait y ajouter une quatrième classe de machines, où les cylindres soufflants sont mus par des machines horizontales. Telles étaient les célèbres machines du chemin de fer atmosphérique qui ont été démontées et servent aujourd'hui dans diverses forges comme machines soufflantes par la modification des clapets à air. Elles ont été décrites dans tous les recueils descriptifs du temps.

A la seconde classe appartient la magistrale machine soufflante de Cokerill, qui a été un des objets importants de l'exposition belge en 1867 ; la description avec planches en est donnée dans les *Annales du Génie civil*, numéro de février 1868, et il suffira de rappeler ses dispositions fondamentales assez analogues à celle de la fig. 4, pl. 149. Le cylindre soufflant est en l'air sur un entablement de fonte portée par quatre colonnes d'ordre gothique ; en bas et dans le même axe est la machine à vapeur proprement dite. Elle a deux cylindres accolés pour détendre, suivant le principe de Woolf; un T, ou pièce transversale, guidé entre deux paires de glissières, réunit les deux tiges de piston à vapeur et la tige du piston soufflant : les extrémités du T portent les bielles latérales et pendantes qui actionnent le volant placé en bas à fleur de sol sous les cylindres à vapeur. Les pompes du condenseur et de l'alimentation des chaudières sont sur le côté dans le sol, comme dans la figure 4, mais actionnées par un petit balancier spécial du premier genre, ayant son tourillon sur les colonnes ; des plates-formes à rampe à la hauteur des cylindres à vapeur et de la base du cylindre soufflant, avec des escaliers commodes, complétaient l'aspect monumental de la soufflerie Cokerill, en permettant au mécanicien de lui donner en service tous les soins voulus. On annonçait à l'Exposition que cette soufflerie est la vingt-cinquième du même type, construite aux ateliers de Seraing, et qu'elle jouit d'une grande faveur en Belgique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Arrivons aux types de la planche 149.

Le numéro 1 est la soufflerie à balancier réduite à sa plus simple expression, telle qu'on ne la retrouve plus que dans les anciennes forges. Le cylindre soufflant est à un bout du balancier, le cylindre à vapeur est à l'autre bout ; un massif en maçonnerie porte l'axe du balancier. Il n'y a ni appareil condenseur, ni volant régularisateur ; une simple tige descend du balancier pour actionner les clapets de distribution, suivant le système à déclic et à cataracte dit du Cornouailles : mais le même système de soufflerie se rencontre avec addition d'appareils condenseurs et d'un volant dont la bielle, qui l'actionne, est attachée soit sur un point intermédiaire du balancier entre son tourillon d'oscillation et l'une ou l'autre extrémité, soit sur un appendice prolongeant le volant en arrière de l'un ou l'autre cylindre, comme dans la grande soufflerie monumentale de Lilleshale, qui était à l'Exposition de Londres.

Le numéro 3 diffère du précédent par la position du cylindre soufflant descendu en fosse, le volant actionnant à l'ordinaire par le bout du balancier et par l'entablement à colonnes qui porte l'axe d'oscillation de celui-ci.

Le numéro 2 est déjà un premier exemple de soufflerie mue directement par la vapeur, mais avec addition du balancier usuel pour mouvoir la pompe du condenseur et le volant. Les deux cylindres sont verticalement en prolongement l'un de l'autre, celui de la soufflerie étant en fosse immédiatement sous le cylindre à vapeur et la tige étant commune aux deux pistons. Ce type, qui a sa raison d'être pour sa stabilité et sa facilité d'assise, même sur le terrain meuble des forges établi sur le sol défoncé des houillères, a deux graves inconvénients. Le balancier sert, en somme, à peu de chose, et la tige rentrant dans le cylindre à vapeur, après avoir été rafraîchie chaque fois dans le cylindre à air, condense la vapeur à chaque cylindrée.

Le numéro 4, qui, nous l'avons dit, rappelle les dispositions de la soufflerie exposée en 1867 par l'usine Cokerill, peut être considéré comme un des types les plus complets et les plus perfectionnés. Il est pour ainsi dire à trois étages : au sommet est le cylindre soufflant ; tout en bas sont le volant et les appareils condenseurs ; à l'étage intermédiaire correspondant au sol est la machine à vapeur proprement dite.

Le numéro 5 est le précédent renversé, le cylindre soufflant étant en bas et le cylindre à vapeur au sommet. Les colonnes relient directement les deux cylindres ; la machine n'occupe plus que deux étages. A fleur de sol sont le volant, les appareils condenseurs et la base du cylindre soufflant. Ce type est un des plus rationnels et des plus simples.

Le numéro 6 est une variante du numéro 4, avec un entretoisement plus simple par les glissières elles-mêmes qui guident la tige du piston, et avec un singulier agencement de levier pour mouvoir les pompe, volant et tige du déclic de la distribution.

Le numéro 7 est la quadruple soufflerie du Creusot qui donne le vent à un groupe de six nouveaux fourneaux et est estimée puissante de 1200 chevaux vapeur. Elle était en dessin avec quelque réduction à l'Exposition de 1867. Elle occupe les trois étages d'un très-vaste bâtiment : en bas est la soufflerie ; à l'étage moyen correspondant au sol sont les volants sur un entablement à colonnes ; c'est assurément l'installation la plus imposante qu'on connaisse en ce genre. Suivent les principales dimensions : cylindre soufflant, $2^{m}.75$ de diamètre et 2 mètres de course ; cylindre à vapeur, $1^{m}.20$ de diamètre et 2 mètre de course ; pression initiale de la vapeur, 5 atmosphères, introduction pendant le quart de la course ; 15 révolutions de volant par minute ; distribution par course et soupapes équilibrées ; poids du volant 40 tonnes. Ces quatre machines sont desservies

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par 8 groupes de générateurs chauffés par les gaz des fourneaux. Dans chaque groupe il y a 3 chaudières cylindriques ayant 12 mètres de longueur sur 1m.30 de diamètre, avec un bouilleur inférieur ayant 11m.50 de long sur 0m.80 de diamètre. La surface totale de chauffe est 1,153 mètres. La cheminée, véritable monument en brique et pierre de taille, a 80 mètres de haut sur 3m.10 de diamètre à la base de la partie conique qui s'élève au-dessus du socle rectangulaire.

Le numéro 8 est un spécimen des souffleries horizontales directes qui sont très-fréquentes dans nos forges françaises, ainsi qu'en Angleterre, et, paraît-il, en Amérique. La figure représente le *système Parrot* construit à Westpoint Foundry à New-York. Il est à peu près analogue aux souffleries de Cail qu'on voit dans le nord et le centre de la France. Le cylindre à vapeur et le cylindre soufflant sont sous le même cadre en fonte en prolongement l'un de l'autre, les tiges, bien que dans le même axe, étant distinctes et séparément clavetées sur la même traverse en T, dont les extrémités au dehors des glissières de guide commandent 2 pompes à plongeur alimentant la chaudière, et une paire de bielles latérales qui actionnent les volants régularisateurs. La distribution de vapeur se fait par les clapets réunis sur le dessus du cylindre, 2 pour l'admission et 2 pour l'émission. Ils sont actionnés par la bascule d'un levier-came mis en mouvement par un excentrique ordinaire calé sur l'arbre des volants. Les clapets du cylindre à air sont ménagés dans les couvercles du cylindre, et le conduit de réception d'air est au-dessus. Ces clapets sont des bandes de toiles caoutchoutées, élastiques par elles-mêmes et posant sur des plates-formes trouées comme dans les anciennes souffleries bien connues de Cavé.

Voici les principales dimensions de la machine Parrot : diamètre du cylindre à vapeur 0m.96; diamètre du cylindre à air 2m.15; diamètre du plongeur de pompe alimentaire 0m.077; course commune 2m.30; diamètre du tuyau à air 0m,607; diamètre des volants 7m.30; bielles, longueur 6m.87; diamètre au milieu 0m.120; aux bouts 0m.05; patins des glissiers 0m.310 sur 0m.180.

Nous aurions encore à examiner les machines obliques et les machines des petits ateliers. Comme c'est surtout en dehors de l'Exposition que nous les avons étudiées, nous les réservons pour un article spécial qui sera publié dans les *Annales du Génie civil*.

Jules GAUDRY.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XLVII

LA MINÉRALOGIE ET LA GÉOLOGIE

A L'EXPOSITION DE PARIS DE 1867

PAR M. **A.-F. NOGUÈS**,

professeur de sciences physiques et naturelles à l'École centrale lyonnaise et à l'École Saint-Thomas d'Aquin (Oullins).

SUITE [1].

Les lignites entrent pour une grande partie dans la production de combustibles minéraux de la Prusse et de l'Allemagne du Nord. D'après la carte générale de la distribution des minéraux utiles dans le district de l'administration des mines de Halle-Prusse, la production en 1865, en lignites de toutes sortes, s'élève à 4,597,774,550 kilogrammes ou 4,597,774 tonnes environ.

Les principales exploitations de lignite, dont les produits figurent à l'Exposition, dans le secteur prussien, sont à Emmerzhausen, Nielleben, Harkarlen, Bergisch Gladbach ; les mines de Grünberg, de Benel, de Halle, de Holzhauen : les mines de lignite de l'État ont fourni des échantillons qui ont attiré l'attention des géologues et des industriels. La mine de Florentine, près de Cologne, a exposé les lignites qu'elle exploite.

Le lignite, connu sous le nom de terre de Cologne, est employé comme combustible ; mais comme ce charbon est trop léger, on lui donne de la compacité en le comprimant dans des vases ou moules coniques.

La terre de Cologne, pulvérisée et tamisée, est employée en peinture comme couleur brune. Les cendres de ce lignite sont très-estimées en agriculture.

L'exposition autrichienne contient aussi quelques échantillons de lignite mêlés avec les autres combustibles minéraux, anthracites et houilles. Ceux de Vordemberg sont les plus dignes d'attention. D'ailleurs, l'Autriche a mieux à faire que d'extraire des lignites, quand elle a de vastes surfaces de terrain houiller, renfermant de bonnes houilles qui n'attendent, pour être exploitées avec profit, que des bras et des capitaux.

La Suède, qui est si riche en minerais de fer et en autres substances métallifères, n'a pas été généreusement dotée par la nature en combustibles minéraux.

Malgré cette infériorité apparente, par rapport à d'autres pays, la métallurgie de la Suède, principalement la fabrication du fer, de l'acier et de la fonte, a acquis un grand développement et une perfection qu'envient les nations rivales. Les minerais de fer, d'excellente qualité, sont généralement traités au charbon de bois, que fournit en abondance le pays : l'essence la plus employée est le sapin.

A l'Exposition, quelques échantillons de lignite, de bonne qualité, provenant

1. Voir le 16e fascicule, p. 222.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la houillère de Hoeganaes, représentent l'industrie des combustibles minéraux de la Suède.

Cette contrée reçoit le peu de cokes métallurgiques qu'elle emploie de l'Angleterre, de la Belgique et de l'Allemagne. La mine de charbon de Hoeganaes produit environ 40,000 tonnes par an; son exploitation a donné naissance à une verrerie importante et à une fabrique de terres cuites et produits réfractaires façonnés avec l'argile contiguë à la couche de charbon minéral.

Dans l'exposition collective des provinces espagnoles, réunie par les soins des ingénieurs des mines de la Péninsule, sont rassemblés des échantillons de lignite de diverses provenances : le lignite crétacé de Berga, les lignites de la province de Gerona, de Cordova, de Burgos, de Toledo, se montrent en magnifiques échantillons.

Les gites qui ont fourni ces lignites espagnols sont principalement dans le terrain crétacé (Utrillas, Gargallo, Esternel dans la province de Teruel; Castel de Cabras, Bel et Alcala). Les gisements de Dos-Aguas, d'Alcoy, qui sont des plus riches de l'Espagne, sont tertiaires.

Les lignites sont abondants dans les terrains tertiaires de l'Italie; on les rencontre en Toscane, en Piémont, en Lombardie et en Vénétie. Leur extraction en 1864 s'est élevée à 428,998 quintaux, produits par 16 mines, représentant une valeur de 487,519 fr. Le plus estimé de ces combustibles est le lignite bitumineux de Montebamboli, dont la composition se rapproche presque entièrement de la houille, savoir :

Charbon.....	56.30
Cendres.....	4.70
Matières volatiles.....	39.0
	100.00

Ce charbon, dont la production annuelle s'élève à 1,615 tonnes, se boursouffle en brûlant comme celui de Dauphin; il est employé dans les forges maréchales; sa puissance calorifique est de 7,295. Rendu à la mer de Torre-Mozza, à 180 kilomètres de Livourne, il revient à 22 fr. la tonne, tandis que le Newcastle est côté 40 fr. au port de Livourne. Chaque tonne de houille de Newcastle produit le même effet que 1,185 kilog. de lignite houilleux de Montebamboli.

La Vénétie compte quatre mines de lignite, savoir : à Pulli, Calverina, Monteviale et Mont-Bolca; un grand nombre de dépôts de ce combustible se trouvent dans les provinces napolitaines.

La Lombardie produit aussi des lignites; la Société de Brescia pour l'exploitation des combustibles fossiles, a exposé des lignites de Brescia, des schistes bitumineux, de la craie de Tuenetto, dans le Trentin, des lignites et schistes des terrains tertiaires de Bolca et de Cerealto (Province de Vicence). Le lignite de Bolca est composé de :

Charbon.....	40.90
Cendres.....	17.80
Matières volatiles.....	41.30
	100.00

Dans la province de Bergame, MM. Botta frères exploitent les lignites de Val-Gandino, qui produisent annuellement de 60,000 à 70,000 quintaux métriques.

Le gisement le plus remarquable de Piémont est celui de Cadibona, dans l'Eocène supérieur; la production annuelle est d'environ 200,000 quintaux par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

an. M. Pallavicini a exposé, outre les combustibles, les fossiles qui l'accompagnent, parmi lesquels se trouvent des débris de mammifères. Ce lignite, vendu en Piémont et en Ligurie à raison de 1 fr. 55 le quintal, est composé de :

Charbon.....	48.30
Cendres.....	7.60
Matières volatiles.....	44.10
	100.00

Les lignites de la Toscane se trouvent principalement à Berignone, près de la Casale, Montevaso, Frontignano, Muriano, etc.; ils peuvent se diviser en trois groupes : les lignites fibreux, les bitumineux et les stipiformes.

Des charbons de ces différentes catégories ont été exposés par MM. Chioffi, Caffari, Strozzi, Cajoli, Gamurrini, Urbini, et par les Sociétés de Ferrari, de Rimini, d'Umbro-Sabina.

5° Tourbes.

La tourbe est essentiellement formée par des débris de végétaux aquatiques, marins ou d'eau douce, dans un état de décomposition plus ou moins avancée. Elle se rencontre en abondance dans quelques contrées basses et marécageuses et dans certaines vallées (vallées d'Essonne, de la Somme, de l'Aisne, de la Loire, de la Meurthe, du Doubs, etc.). Les principales tourbières connues et exploitées sont celles de Hollande, des environs de Magdebourg, du Hanovre, de la Westphalie, etc. ; et en France, celles de la Savoie, des vallées de la Somme, de la Meurthe, du Doubs, etc.

La tourbe se trouve dans les vallées à différents niveaux; il en existe des dépôts considérables même sur des plateaux élevés, dans les Vosges, dans les Alpes, etc. ; mais elle abonde surtout vers l'embouchure des fleuves qui parcourent un sol très-bas, comme le Rhin, la Meuse, la Somme, la Loire, etc. Elle est partout en bancs horizontaux, quelquefois fort épais, divisés par des lits d'argile et de gravier, situés, en général, à une faible profondeur au-dessous de la surface du sol, et immédiatement sous la terre végétale.

La tourbe est abondante dans les climats froids et humides; elle est très-rare ou même elle manque complétement sous les tropiques; elle est même fort rare dans les parties méridionales de l'Europe. On en trouve peu dans les vallées de l'Espagne et dans le midi de la France, tandis qu'elle est assez abondante au nord et à l'est de notre pays. Non-seulement elle abonde de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne de l'Équateur, mais encore elle devient plus facilement combustible dans les latitudes septentrionales. Toutes les eaux ne sont pas également propres à la formation des dépôts tourbeux. Il y a des marais qui en sont remplis, d'autres qui n'en présentent aucune trace; il est donc évident que la tourbe ne se produit que sous des conditions particulières. En général, il ne s'en forme pas dans les eaux courantes, ni dans les masses d'eaux stagnantes profondes, ni dans les flaques d'eaux qui peuvent se dessécher pendant l'été, ni dans celles qui renferment des sels en dissolution.

Dans l'hémisphère austral on n'a pas observé de tourbe au nord du 45e degré de latitude. Elle occupe en Europe une vaste étendue; il y a des tourbières en Irlande, Angleterre, Hollande, Belgique, France, Danemark, Russie, Italie, dont les produits de quelques-unes ont figuré à l'Exposition de 1867.

Plusieurs des tourbières occupent la place de forêts de sapins et de chênes dont quelques-unes ont disparu depuis les temps historiques. Dans quelques tourbières on a trouvé des fragments de troncs encore debout, avec leurs ra-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cines en place, fixées dans le sous-sol; ce qui dénote qu'ils ont vécu dans les lieux mêmes où on les trouve.

En général ce sont des sapins, des chênes, des bouleaux, etc.; les feuilles et les fruits de chaque espèce se trouvent aussi dans les tourbières, près des arbres auxquels ils ont appartenu.

On trouve dans les tourbières d'Angleterre, de France, etc., des pièces de monnaie, des ustensiles divers, des haches en pierre et en bronze, des débris de canots, des armes d'origine romaine ou de l'époque antéhistorique avec des restes d'espèces animales qui vivent encore ou des espèces qui se sont éteintes depuis l'époque historique. Mais toutes les tourbes, quoique quaternaires ou de la période moderne, n'ont pas le même âge. En effet, dans certaines tourbières on a distingué des débris de l'industrie humaine de l'âge de pierre, et on y a trouvé des restes d'espèces animales qui n'habitent plus la contrée ou qui ont disparu de la faune vivante : ce sont les tourbes les plus anciennes. Dans d'autres dépôts tourbeux on a reconnu des vestiges de l'âge de bronze, de l'âge de fer et de la période historique.

Les tourbes sont en général très-hétérogènes, car elles renferment les débris de plantes à des états variables de décomposition, mélangées avec des matières terreuses, telles que du sable quartzeux, de l'argile ferrugineuse ou calcaire, des sels, de l'ulmine, plus rarement des pyrites et de l'eau hygrométrique, etc.

Dans les temps très-chauds et très-secs, la tourbe compacte ne perd pas plus de 10 p. 100 de son poids par dessiccation; la tourbe à texture lâche, après plusieurs mois pluvieux, retient jusqu'à 25 p. 100 d'eau hygrométrique. La plupart des tourbes, préalablement desséchées à une température supérieure à 100°, perdent par calcination de 40 à 50 p. 100 de matières volatiles. Le carbone fixe qui constitue le résidu solide de la calcination, ou le charbon de tourbe, est en proportion très-variable et dépend beaucoup de la rapidité avec laquelle s'opère la calcination. Les tourbes françaises, dont nous parlerons tout à l'heure d'une manière particulière, ont donné depuis 14 jusqu'à 39 p. 100 de carbone fixe; la proportion des cendres varie aussi dans des limites très-étendues, elle va de 6 à 18 p. 100.

Les tourbes donnent à la distillation des gaz combustibles, de l'eau, des huiles, de l'ammoniaque. Le charbon ou résidu fixe a la même texture que la tourbe, mais il occupe un volume moindre; le retrait est en général des deux tiers.

La tourbe est un combustible herbacé, espèce de terreau brun plus ou moins foncé; quelquefois elle est compacte et noire, le plus souvent elle est spongieuse, d'un brun plus ou moins foncé avec l'aspect du fumier comprimé. Elle brûle facilement avec flamme, ou même quelquefois sans flamme, mais toujours lentement, à cause des matières terreuses qui modèrent l'action de la combustion. En brûlant, elle exhale une odeur désagréable qui paraît tenir à la présence de substances animales.

La densité de la tourbe est très-variable; en se desséchant à l'air, ce combustible éprouve un retrait qui varie des 3/5 aux 4/5 de son volume primitif; la dessiccation n'arrive à son terme qu'après un an au moins. Dans le nord-ouest de la France, les 1000 briquettes de tourbe séchées à l'air pèsent de 300 à 370 kilogrammes. Le mètre cube de tourbe sèche et peu terreuse de Rothau (Haut-Rhin) pèse 360 kilog. La tourbe du Fichtelgebirge, en Bavière, pèse de 285 à 390 kil. le mètre cube, sans vide. A Crouy-sur-Ourcq, près de Meaux, les 1000 briquettes de tourbe mousseuse sèche pèsent 300 kilog., et le mètre cube 250 kilog. Les 1000 briquettes de tourbe noire pèsent 315 kilog., et le mètre cube 310 kil. (Berthier).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La tourbe desséchée à l'air a généralement un pouvoir calorifique sensiblement supérieur à celui du bois; le pouvoir calorifique du meilleur charbon de tourbe est toujours un peu moindre que celui du charbon de bois.

On emploie la tourbe comme combustible sous trois formes différentes :

1° A l'état brut ou naturel, en briquettes façonnées au louchet.

La tourbe qui contient peu de matières terreuses, chargée sur la grille des fours à réverbère, donne, dans le foyer et sur la sole, une température supérieure à celle qu'on peut obtenir avec les bois non desséchés; elle peut être employée pour certaines opérations métallurgiques : le puddlage et le réchauffage du fer. La tourbe lavée, plus compacte et moins chargée de matières terreuses que la tourbe non lavée, se prête encore mieux aux opérations métallurgiques et industrielles. Dans un foyer domestique, sous un appel d'air peu énergique, elle brûle assez lentement et produit une flamme courte et moins brillante que celle du bois. (Rivot.)

2° A l'état compacte, ou agglomérée en masses fortement condensées par une forte pression qui réduit considérablement leur volume.

3° A l'état de charbon. La carbonisation de la tourbe s'opère soit par la méthode des meules, soit par la distillation en vase clos, ou par calcination dans les fours en maçonnerie,

Le charbon de tourbe est employé avec avantage dans l'industrie pour produire de la vapeur, pour évaporer des liquides, pour la cuisson des poteries, le chauffage domestique et même pour le traitement du fer dans les hauts-fourneaux et d'autres opérations métallurgiques.

Dès 1826, on a employé à Lauch-Hammer, près de Dresde, la tourbe au puddlage du fer; vers la même époque, le charbon de tourbe, mélangé au charbon de sapin, est employé, dans les Vosges, dans les feux d'affinerie et dans les hauts-fourneaux de Neunhammer. A partir de 1830, la tourbe est employée aux forges d'Ichoux (Landes) pour le puddlage de la fonte et le réchauffage du fer; les usines de Ransko et de Kœnigsbroun, en Bohème, l'utilisent à des usages industriels, qui, partout ailleurs, exigent la houille, comme la fusion du minerai de fer au haut fourneau, la fusion de la fonte au cubilot. En Hollande, on l'emploie à tous les usages auxquels le charbon de bois peut servir.

On voit donc que la tourbe est un combustible précieux pour tous les pays qui manquent de houille et de bois. C'est une réserve que la nature a préparée pour l'avenir, quand les autres combustibles, devenus rares, ne suffiront plus à toutes les exigences de l'industrie et de la consommation.

Depuis une dizaine d'années, l'emploi de la tourbe dans le chauffage domestique s'est beaucoup répandu; la production s'est élevée d'une manière considérable. Paris en consomme annuellement plus de 3 millions de kilogrammes.

L'industrie de l'extraction et de la préparation de la tourbe est représentée à l'exposition française par un petit nombre d'exposants : MM. Eugène Lavigne, Challeton de Brughat, Bocquet, la Compagnie des mines de Lens. Les tourbières de la Savoie, du Doubs, etc., n'ont rien envoyé au Champ de Mars. Dans ces départements boisés, où le bois et le charbon ne font point défaut, les tourbières sont peu exploitées; tandis que, dans les environs de la capitale, l'exploitation de la tourbe est une source de prospérité pour les compagnies en même temps qu'un bien pour l'économie générale du chauffage domestique; car la tourbe ne se vend guère à un prix supérieur à 10 ou 15 fr. les 1000 kilog. Rendue à Paris, ce prix s'élève de 23 à 26 fr. la tonne.

M. Eugène Lavigne, qui exploite les tourbières de Fontaine-Lecomte par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pont-Maxence (Oise), a exposé : 1° tourbe brute, 2° tourbe moulée, 3° charbon de tourbe, 4° cendres de tourbe pour l'agriculture, 5° poussier de tourbe, 6° poudrette à base de tourbe, engrais, fumier de tourbe.

La tourbe ordinaire et la tourbe moulée de Fontaine-Lecomte sont employées pour le chauffage domestique et industriel, fours à chaux, à briques, à gaz, etc.; elles sont noires et laissent apercevoir les débris des végétaux qui entrent dans leur texture. La tourbe moulée a donné la composition suivante :

Charbon	40.0
Eaux ammoniacales	35.0
Goudron	5.0
Gaz et perte	20.0
	100.0

Le charbon de tourbe, contenant 84 p. 100 de carbone et 16 p. 100 de cendres, peut être substitué au charbon de bois dans tous les usages ordinaires et dans quelques industries; son pouvoir calorifique est de 5,000 à 5,200 calories; il se vend de 75 à 95 fr. les 1,000 kilog., pris à l'usine. Les cendres de tourbe sont employées à l'amendement des terres et à l'amélioration des prairies naturelles ou artificielles; elles fournissent au sol une certaine quantité d'azote. Les cendres des tourbes de Fontaine-Lecomte, vendues à 2 fr. le mètre cube, analysées par M. Jacquelin, ont donné la composition suivante :

Eau	3.40
Chlore	0.15
Soufre	0.65
Carbone	1.25
Silice	3.25
Acide sulfurique	10.25
Alumine ferrugineuse	17.70
Chaux	39.90
Magnésie	23.45
Soude et potasse	traces.
	100.00

Le poussier de tourbe sert à fabriquer des poudrettes à base de tourbe qui fournissent à l'agriculture 1.8 p. 100 d'azote, 5 p. 100 de phosphates, 2 p. 100 de sels et 35 p. 100 de matières organiques. Les engrais et fumier de tourbe fournissent au sol jusqu'à 4 p. 100 d'azote et 18 p. 100 de phosphates.

L'azote est donnée à la tourbe par l'addition des matières fécales.

M. Lavigne a fait quelques essais sur l'emploi de la tourbe comme combustible métallurgique. Les échantillons des fers obtenus : fers pour essieux, fers puddlés, fers ballés, tôles, ont montré l'usage que l'on peut faire de ce combustible partout où le prix de la houille sera trop élevé et où la tourbe pourra être livrée à bon marché.

Par la distillation de la tourbe on obtient un goudron plus azoté que le coal-tar; ce goudron, soumis à une seconde distillation, donne des huiles brutes et du brai.

Par un traitement convenable on obtient la benzine, des huiles pour l'éclairage, l'acide phénique, la créosote, la paraffine, etc. Des échantillons de ces divers produits dérivés du goudron ont été exposés par M. Lavigne. Dans 1000 kilog. de tourbe moulée, on trouve 50 kilog. de goudron, 350 kilog. d'eaux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ammoniacales, 400 kilog, de charbon, 200 kilog. de gaz et perte. Les 50 kilog. de goudron renferment :

Huiles à benzine.....	5 kil.
Huiles basiques.....	12
Huiles à paraffine.....	18
Eaux ammoniacales.....	4
Brai sec.....	10
Perte.....	1
	50 kil.

M. Challeton de Brughat, à Montauger (Seine-et-Oise), exploite les tourbes de la vallée d'Essonne. Cette tourbe brute ressemble à du fumier; elle est formée par des végétaux dont une grande partie n'est pas encore décomposée et se montre dans la masse du combustible.

M. Challeton traite les tourbes à l'usine de Montauger; il les soumet à un moulage mécanique sans pression et à un lavage pour les épurer. Cet ingénieur a exposé des échantillons de tourbe brute, de tourbe agrégée carbonisée, de tourbe agrégée et épurée sans pression, ainsi que des produits extraits de la tourbe.

Sous le nom de houille végétale Bocquet, la galerie V contient de la tourbe mousseuse, grise, avec nombreux débris de végétaux et de la tourbe noire plus compacte, moulée en prismes et en cylindres. Ce mode d'agglomération de la tourbe paraît très-commode pour le chauffage ordinaire et semble donner à la houille végétale Bocquet un certain avantage sur les tourbes brutes et les tourbes moulées au louchet.

Les tourbières de la Hollande produisent annuellement 45 millions de tonnes de tourbe qui est le combustible ordinaire du pays.

En Italie, la tourbe est également employée pour le chauffage domestique et industriel; 69 tourbières, dans les provinces de Turin, Milan, Venise, Florence, sont en exploitation. En 1864, leur production s'est élevée à 769,309 quintaux métriques. Les tourbes italiennes sont représentées au Champ de Mars : 1° par les tourbes des carrières de Castelnuovo en Valdarne supérieur (Siccoli, Casini et Cie, à Florence); 2° par celles des environs de Padoue (M. Magarotto); 3° par les tourbes d'Iseo, de Torbiato, d'Azzano, de Ghede, exposées par M. Ballardini de Brescia; 4° par celles de Bosisio, préparées par M. Rossi, ingénieur à Milan. Les tourbes préparées, lavées et agglomérées, sont estimées en Italie, car leur puissance calorifique va jusqu'à 5,625 calories; elles peuvent, en bien des cas, remplacer la houille. L'industrie de la préparation de la tourbe est exercée principalement par M. Rossi et par MM. Calza Cramer de Turin et Jean Moro d'Arona.

Les tourbes préparées sont dures, compactes; elles contiennent une faible proportion de cendres, de 7 à 8 p. 100.

La composition des tourbes exposées est représentée dans le tableau suivant :

	Iseo.	Torbiato.	Bosisio.	San-Martino.	Padenghe.
Charbon.....	29.00	25.40	42.80	27.87	24.60
Cendres.....	10.00	10.00	6.00	3.83	18.10
Matières volatiles...	61.00	64.60	51.20	68.30	57.30

6° Bitumes. Asphaltes. Huiles minérales. Pétroles.

Les bitumes sont des corps solides, mous ou liquides, composés essentiellement de carbone et d'hydrogène; ils s'enflamment très-facilement et brûlent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec une flamme plus ou moins vive, avec fumée et odeur, sans laisser de résidu charbonneux bien sensible.

La plupart des hydrocarbures ont une origine organique, directe ou indirecte. Les produits liquides ou solides qui se sont formés, comme le bitume et l'asphalte, ont imprégné les schistes, les calcaires et les grès.

Mais tous les hydrocarbures n'ont pas cependant une origine organique ; certaines espèces, telles que le naphte, le pétrole, se sont formées sous l'influence des forces physiques et volcaniques ; ils résultent des réactions qui se produisent dans les profondeurs de l'écorce terrestre, au voisinage des foyers volcaniques.

On a reconnu l'existence d'un vaste dépôt de pétrole, qui s'étend presque du nord au sud de l'Amérique septentrionale ; son gisement se trouve dans des couches inférieures au terrain houiller. Cette huile minérale ne contient ni benzine, ni aucun de ses homologues, ce qui semble indiquer qu'on ne peut faire dériver ce carbure de la houille.

M. Sterry-Hunt admet l'origine organique du pétrole ; cet hydrocarbure se serait produit par une transformation des matières organiques déposées avec les sédiments calcaires. Des matières semblables dans des eaux moins profondes perdent une plus grande proportion de leur hydrogène et se transforment en houille ou autres substances charbonneuses ; dans les calcaires purs d'origine marine, les principes hydrocarburés ne sont représentés que par les pétroles. La formation des pétroles s'expliquerait par une transformation des matières organiques sous des conditions qui se rapprochent de celles qui donnent lieu à la formation des houilles grasses. M. Coquand, après une étude des gisements pétrolifères de la Roumanie, a rejeté la théorie du géologue de la commission du Canada. Voici en quelques lignes l'opinion de M. Coquand : Les gisements de pétrole et ceux d'asphalte, qui ne sont que des pétroles épuisés, forment des amas subordonnés plus ou moins étendus, enclavés au milieu des terrains qui les contiennent. Le fait qui a imprégné les calcaires ou les grès est dû à une cause fortuite qui a exercé son action passagère, et introduit un élément nouveau au sein des formations marines ou lacustres dans lesquelles on observe des dépôts d'asphalte ou de pétrole. Ces produits hydrocarburés sont donc contemporains des couches qui les contiennent. Les sources souterraines ont apporté un produit liquide que les roches qui se déposaient dans leur voisinage se seront assimilé ou auront emprisonné. Si elles l'ont hérmétiquement emmagasiné dans leurs mailles, dans des argiles sans communication avec l'air extérieur, les huiles minérales seront restées à l'état de naphte ou de pétrole ; si, au contraire, elles ont rencontré des grès ou des calcaires poreux qu'elles aient pu imbiber, elles auront laissé échapper tout ou partie de leurs éléments volatils en se convertissant en asphaltes, ou en bitumes glutineux, ou en bitumes de Judée.

Les recherches de M. Berthelot donnent aux pétroles une origine purement minérale ; on sait que ce savant chimiste a obtenu l'acétylène C^4H^2 par l'union directe du carbone et de l'hydrogène. En chauffant ensemble l'acétylène avec de l'hydrogène H^2, il a obtenu le gaz oléifiant, qui donne lui-même quand on l'unit avec de l'hydrogène, un gaz qui a pour formule C^4H^6. Pour arriver à la formule du pétrole chimiquement pur, il faut trouver de l'hydrogène libre qui, en réagissant sur ces carbures, les transforme en carbures d'hydrogène de la formule $C^{2n}H^{2n} + 2$ qui constituent les pétroles. Or, on sait qu'il se dégage de l'hydrogène dans les éruptions du Vésuve, donc qu'il existe de l'hydrogène libre dans l'intérieur du globe.

Le pétrole, continue M. Coquand, doit être rangé parmi les substances que le foyer incandescent distribue aux terrains sédimentaires, et dont l'hydrogène sulfuré, le producteur du soufre par excellence, occupe la place d'honneur. Si

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donc celui-ci, par des réactions bien connues, forme du soufre et de l'acide sulfurique, en rendant libre son hydrogène ou en le combinant avec l'oxygène de l'air pour former de l'eau, je ne vois pas pourquoi l'hydrogène, en s'unissant au carbone, ne produirait pas des carbures de la formule des pétroles.

Les bitumes liquides qui imprègnent certaines roches, comme les schistes, les calcaires et les grès sont des produits analogues au pétrole. On exploite aux environs d'Autun, à Buxière-la-Grue (Allier), à Menat (près de Clermont), à Vagnas (Ardèche) et sur quelques autres points de la France, ainsi que sur la côte de la Manche en Angleterre, des schistes bitumineux, dont on extrait par distillation des huiles minérales ou huiles de schiste, propres à l'éclairage. Les produits de la distillation sont condensés et puis fractionnés : la partie liquide est purifiée, en la traitant successivement par l'acide sulfurique et la chaux. L'huile de schiste donne une très-vive lumière, mais elle répand une odeur désagréable ; son pouvoir éclairant est supérieur à celui du pétrole ; 30 grammes d'huile de schiste donnent à l'heure la lumière de 16 à 18 bougies, tandis qu'il faut 38 grammes de pétrole pour obtenir le même effet lumineux.

Schistes bitumineux du bassin autunois. — Le bassin autunois est aujourd'hui divisé en de nombreuses concessions, obtenues par différents décrets ; d'autres parties restantes sont en demande de concession et certaines portions n'ont pas encore été explorées. La surface du bassin est encaissée par des relèvements granitiques ; sa longueur est de 27 kilomètres, et sa largeur de 10 ; sa production annuelle est d'environ 20 millions de litres d'huile.

Les schistes bitumineux d'Autun sont noirs, un peu luisants ; ils renferment des empreintes de poissons et de plantes ; ils ressemblent aux schistes houillers. Ils appartiennent au terrain permien ou partie supérieure des terrains primaires ; ils rendent 5 p. 100 d'huile minérale brute d'une densité moyenne variant de 0.830 à 0.835 jusqu'à 0.870 à 0.910. On distingue trois couches de schistes distinctes :

1° L'inférieure qui repose sur le granite ; son épaisseur est de 35 mètres, elle renferme trois bancs de 3 à 4 mètres de puissance qui sont exploités.

2° La couche moyenne de 3 mètres d'épaisseur.

3° La couche supérieure de 0m.25, très-riche en carbures volatils.

L'industrie de l'huile de schiste, paralysée un instant, lors de la découverte du pétrole de la Pennsylvanie, reprend une nouvelle vigueur depuis qu'elle a perfectionné les moyens d'extraction ; maintenant l'huile de schiste peut faire concurrence au pétrole sur le marché d'Europe. Un hectolitre de schiste bitumineux des environs d'Autun pèse environ 90 kilog. et donne de 5 à 6 litres d'huile brute, et exige 15 litres de houille pour sa distillation. Un hectolitre d'huile brute donne en moyenne :

Huile légère à 0.800 de densité....	48 litres.
Huile lourde à 0.850.....	18
Huile grasse à 0.880 à 0.890	8
Goudron.....	12
Paraffine.....	0.50
Perte.....	13.50
	100.00

L'Exposition a reçu les produits de la distillation des schistes bitumineux de l'Autunois et des échantillons de ces schistes. Nous allons indiquer les concessions de cette contrée, en commençant par la partie en amont portant le nom de bassin de l'Arroux :

1° Concession des usines de Saint-Léger-du-Bois (contenant 500 hectares) à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Drago. Cette usine de première distillation fonctionne avec 28 cornues, système fixe vertical ; 14 autres, même système, sont en construction (1866). Elle distille environ 20 mètres cubes de schiste par jour, elle en distillera 30 après la mise en marche du troisième four.

2° Concession et usines de la Varennes, commune d'Ygornay (contenant environ 300 hectares), exploitées par MM. Gontier et Cie, aujourd'hui par Ch. Beaune, Pierre et Lucotte, possédant : 1° une usine de première distillation de 16 cornues tournantes, distillant environ 32 mètres cubes de schiste par jour ; 2° une usine de deuxième distillation, d'épuration et une usine à goudron.

Cette Compagnie a exposé un gros bloc de schiste et divers produits qu'elle obtient par sa distillation : huile de schiste, paraffine, sulfate de fer et de soude. Deux grandes pyramides de paraffine durcie, l'une de Saône-et-Loire et l'autre de l'Allier, par leur blancheur nacrée tranchent sur le ton gris des vitrines qu'elles décorent.

3° Concession et usines d'Ygornay (510 hectares). MM. Roche et Cie. Possède une usine de première distillation de 48 cornues, distillant environ 40 mètres cubes de schiste par jour, et une usine de deuxième distillation, d'épuration et à goudron. Le schiste d'Igornay donne 5 p. 100 d'huile brute, rendant 80 p. 100 d'huile légère, tandis que les autres schistes du bassin donnent de 50 à 30 p. 100 en huile légère.

4° Concession et usines de Dracy-Saint-Loup (400 hectares). MM. Hubinet de Soubise et Cie. Usine de première distillation de 20 cornues, système fixe, distillant 14 mètres cubes de schiste par jour. On y faisait construire, il y a un an, 12 cornues tournantes, système Malo, pouvant distiller 72 mètres cubes de schiste par jour. Usine de deuxième distillation, d'épuration et à goudron.

5° Concession et usine de Lionge, commune de Dracy Saint-Léger (contenance d'environ 300 hectares). M. Antoine Duverne. Munie d'un système de 10 cornues fixes verticales, distillant 12 mètres cubes de schiste par jour, et 4 cornues tournantes, système Malo, distillant 24 mètres cubes de schiste par jour ; usine d'épuration, à goudron. En outre, cette usine fabrique des composés sodiques avec les produits schisteux.

A côté de cette usine, MM. Malo et Germain Clergault ont fait bâtir deux autres usines dépendantes de la même concession.

6° Concession et usine de Muse, près Dracy Saint-Loup (400 hectares). MM. Gislain et Caulet. Munie d'appareils de première distillation, consistant en 10 cornues verticales distillant 12 mètres cubes de schiste par jour, et de 24 cornues verticales, système Martin.

7° Concession et usines de Chevigny, Dracy Saint-Loup (d'une contenance de 250 hectares). MM. Ducreux, Deguin et Cie. Possède une usine de première distillation, composées de 3 fourneaux de 14 cornues chacun, système fixe vertical. Elle distille 40 mètres cubes de schiste par jour ; appareils de deuxième distillation et d'épuration.

8° Concession de Surmoulin et usines de Surmoulin et Lorme (contenance 1000 hectares). Rossigneux et Cie. Usine de première distillation à Surmoulin. de 30 cornues verticales fixes, distillant 20 mètres cubes de schiste par jour. Une usine de première distillation pour les Bogheads à Lorme, système fixe horizontal ; usine de deuxième distillation, épuration et goudron.

9° Concession et usines de Lally, près Saint-Léger-du-Bois (500 hectares). M. Quenlain aîné. Usine de première distillation à cornues fixes verticales et de 16 cornues tournantes, système Malo. Usine de première distillation et d'épuration.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On connaît encore dans le bassin de l'Arroux cinq autres concessions qui ne sont pas exploitées.

Bassin du Ternin (Aval). — 10° Concession et usines de Millery (Autun-Saint-Forgeot), 500 hectares. Usine de première distillation à 24 cornues tournantes, système Lahore. La Société civile des mines de l'Autunois qui exploite les concessions de Millery et d'Hauterive possède plusieurs usines : usine d'épuration, une usine à goudron pour transformer les résidus en coke, une usine pour la fabrication de la paraffine. Elle utilise les gaz pour l'éclairage et le chauffage des cornues. Cette Société a exposé des échantillons de schiste bitumineux, des huiles de schiste de diverse densité et des produits dérivés, comme la paraffine.

11° Concession de Polleroye, commune de Tavernay (500 hectares), exploitée : 1° par MM. Al. Legros et Cie qui possèdent une usine de première distillation de 20 cornues verticales fixes, et une usine de première distillation à la Croix, de 28 cornues fixes verticales ;

2° Par MM. Villedey et Cie qui ont une usine de première distillation de 68 cornues, système vertical, et une usine de deuxième distillation et d'épuration. Cette concession exploite environ 110 mètres cubes de schiste par jour.

12° Concession et usines de la Cornaille (500 hectares), exploitées par M. Drago. Usine à 40 cornues verticales fixes et 6 cornues tournantes, distillant 40 mètres cubes de schiste par jour.

13° Concession et usine de Ruet (600 hectares). 42 cornues distillant 35 mètres cubes de schiste par jour. L'analyse des schistes du bassin d'Autun a donné :

Carbone	23.0
Bitume	12.0
Argile, alcalis, silice	55.0
Eau	10.0
	100.0

Les usines de la Verrerie fabriquent spécialement des graisses minérales ; celles de la Jambe de Bois distillent les huiles provenant d'une première distillation et fabriquent des bougies minérales.

Les usines du Pont-L'Évêque et de Pont-Saint-Pierre reprennent les huiles de schiste en seconde distillation, et préparent des goudrons pour la fabrication du coke. Le résidu de la distillation est mis à profit aujourd'hui ; c'est le brai que l'on utilise comme ciment pour la fabrication des agglomérés.

Les gisements des schistes bitumineux de Buxière-la-Grue (Allier) sont représentés par deux Compagnies d'exploitation.

M. Jules Barse et Cie ont exposé des huiles minérales de schiste employées pour l'éclairage des fanaux maritimes de France, des échantillons de schiste bitumineux, noir, terne, et les différents produits obtenus par le traitement de ces roches, savoir : salin à base de soude, schiste cuit oxydé, graisse minérale, goudron de schiste, noir d'huile de schiste, paraffine et plusieurs échantillons d'huile de schiste de diverses densités.

M. Paul Roudeleux et Cie, à Buxière-la-Grue, ont fait une belle exposition des produits qu'ils fabriquent : huiles minérales à différents états d'épuration, paraffine, paraffine brute, brai pour asphalte, toitures, conduits bitumés, goudronnage des toiles, graisse pour machines. En outre, divers échantillons de schiste avant et après la distillation, schistes avec belles empreintes de poissons à queue hétérocerque.

Les schistes bitumineux de Vagnas (Ardèche) sont miocènes et de formation d'eau douce ; leur texture est compacte, massive, comme celle d'une tourbe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

carbonisée et comprimée; ils rendent en moyenne 10 p. 100 d'huile brute et 5 p. 100 d'huile légère d'une densité de 0.825. Ils sont exploités par MM. Guez-Lavie et Cie qui ont exposé de l'huile brute, de l'huile lampante et de l'huile dégoudronnée. Ils donnent à l'analyse :

Huile brute	10.0
Eau ammoniacale	33.0
Argile	32.0
Matières volatiles	5.0
Carbone fin	20.0
	100.0

Les schistes bitumineux, noirs de la Madeleine (Var) et de Fréjus sont exposés par MM. Beringuier et par la Compagnie Sénéquier.

Les schistes bitumineux de Boson sont exploités et distillés; les produits qu'ils donnent, huiles à diverses densités, goudron, paraffine, figurent avantageusement à l'Exposition.

Les sables bitumineux de Lobsann (Bas-Rhin), qui donnent du bitume par le traitement à l'eau bouillante, figurent à l'Exposition à côté des asphaltes de la même localité, de Seyssel, de Servas, etc.

Les asphaltes sont des calcaires imprégnés de bitume : à Lobsann ils forment des couches d'un calcaire cristallin ou saccharoïde; à Seyssel, ce sont des brèches calcaires; à Vagnas et à Sarvas des calcaires lacustres tertiaires.

L'industrie des asphaltes qui, depuis quelques années, a pris un grand développement, est représentée, dans la section française du Champ de Mars, par plusieurs Compagnies et divers exposants. Nous ne comprenons pas ici les produits fabriqués avec cette matière, tels que tuyaux bitumés, dalles, etc., dont la maison Jalaureau a montré de beaux spécimens. Le bitume qu'elle emploie vient des exploitations d'asphalte de Saint-Aubin (Suisse) et de l'île de la Trinidad.

La Compagnie générale des asphaltes de Seyssel, Val-de-Travers, Chavaroche, etc., a exposé une belle série d'échantillons de la roche qu'elle exploite et des produits qu'elle en retire. Chaque échantillon bien étiquetté est placé dans une petite boîte : sable bitumineux de Seyssel, molasse bitumineuse, riche en bitume, bitume imprégnant un poudingue, bitume imprégnant la molasse à gros grains, bitume imprégnant la molasse compacte, calcaire bitumineux homogène, calcaire bitumineux de Seyssel, bitume. En outre, cette collection contient : asphalte, asphalte veiné, roche en poudre, matières pour l'établissement des chaussées en asphalte, mastic d'asphalte fabriqué par les soins de la Compagnie; enfin, bloc d'asphalte, morceaux et poussière d'asphalte.

A Seyssel, la Société Lassalle exploite une autre concession d'asphalte dont les couches ont 5 mètres de puissance : des échantillons de cette exploitation figurent à l'Exposition. Enfin, les asphaltes de la Compagnie des mines de Servas-Alais (Gard), dont M. Beau est le gérant, sont représentées à l'Exposition par divers échantillons de roche asphaltique et de bitume. Cette Compagnie livre annuellement à la consommation de 800 à 1000 tonnes de mastic asphaltique. Les autres exploitations qui ont envoyé des échantillons au Champ de Mars sont celles de Lobsann, de Sorgues (Vaucluse) et de Menat (Puy-de-Dôme).

Presque tous les pays ont envoyé à l'Exposition de 1867 des schistes bitumineux, ou des asphaltes. La Prusse y figure avec les asphaltes de Limmer, de Hoffnungsczeche, de Rudolphe; l'Autriche, avec celles de la Dalmatie, de la Bukowine, de l'Istrie; l'Espagne nous a porté les asphaltes de Vittoria, de Santander, de Soria d'Alava.

Les huiles que l'on extrait par distillation des schistes bitumineux paraissent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avoir une origine organique. Elles sont le résultat de la décomposition des corps gras organisés, surtout des poissons et autres animaux dont on retrouve encore les restes en place dans la roche. Les parties molles, en se décomposant, ont donné naissance à des huiles et à d'autres corps carburés qui imprègnent les schistes, les calcaires, les grès de certaines parties des terrains houiller, permien, jurassique et tertiaire. Mais cette explication, tout le monde ne l'admet pas, et l'on discutera longtemps avant que les savants soient d'accord sur l'origine des hydrocarbures que l'on trouve dans le sol, libres ou dans un véhicule.

PÉTROLES. — Le pétrole rectifié est employé principalement pour l'éclairage; il répand en brûlant, ou même lorsqu'on l'agite, une odeur fort désagréable. Mais l'objection la plus sérieuse à faire sur l'emploi du pétrole, c'est le danger des explosions. Le pétrole bien pur se trouve rarement dans le commerce; à cet état, il ne prend jamais feu au contact d'une allumette enflammée : celle-ci, plongée dans le liquide, s'y éteint immédiatement comme dans l'eau. Toute huile assez volatile pour prendre feu pendant cette expérience doit être considérée comme dangereuse pour l'éclairage.

Pour la combustion du pétrole, il est prudent de se servir des lampes en verre ou en porcelaine qui ne conduisent pas la chaleur comme celles en métal, qui doivent toujours être rejetées.

On a proposé d'utiliser la vapeur du pétrole comme force motrice : quelques essais ont été faits dans cette direction. On a aussi fait des essais en vue d'appliquer le pétrole brut au chauffage des chaudières à vapeur.

En moyenne, 100 kilogrammes d'huile de pétrole donnent en produits commerciaux :

Huile légère, lampante, incolore	55.00
Naphte	4.70
Huile paraffinée	12.00
Bitume	5.64
	77.34

Sur 100 parties d'huile de pétrole, on trouve :

Huiles brutes de couleur jaune, composée d'hydrocarbures liquides	90.14
Bitume	5.64
Gaz et perte	4.22
	100.00

Les huiles de pétrole brutes pèsent communément 800 degrés: on les épure avant de les livrer à la consommation ; à l'épuration, on en retire en moyenne :

20 p. 100 d'essences pesant	750 degrés.
60 p. 100 d'huiles lampantes	800
20 p. 100 d'huiles lourdes	850

Les huiles de pétrole à brûler, à 800 degrés, se vendent, dans le commerce, 80 francs l'hectolitre; les essences, à 750 degrés, se vendent 40 francs les 100 kilogrammes ; les huiles lourdes, de 850 degrés, se vendent 45 francs les 100 kilogrammes. Les huiles lampantes, à 800 degrés, sont propres à l'éclairage et inexplosibles ; mais certains marchands mélangent aux huiles lampantes des essences à 750, et des huiles lourdes à 850, de manière à ramener ce mélange à une densité moyenne de 800 degrés. Cette sophistication rend l'huile de pétrole très-dangereuse ; car, ainsi préparée, elle est explosible ; mélangée aux essences, elle brûle plus promptement sans que l'intensité de la lumière soit augmentée.

SOCIÉTÉ DES PÉTROLES FRANÇAIS. — Mines d'huile de pétrole naturel de Schwab-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

willer (Bas-Rhin), ingénieur M. Sanyas. Les mines de Schwabwiller sont le premier exemple d'un gisement pétrolifère exploité en France. La Société des pétroles français ouvre une voie nouvelle à l'industrie nationale; certainement on recherchera le pétrole sur d'autres points de notre sol; nous espérons que, dans un avenir très-prochain, la France produira elle-même les huiles minérales qu'elle consomme. On pourrait trouver dans notre pays d'autres sources pétrolifères. La Société des pétroles français a exposé une coupe d'un puits de sondage et des produits de son exploitation : huiles minérales, paraffine et blocs d'un sable brun-jaunâtre, formant la couche pétrolifère.

La mine de Schwabwiller possède une concession de 1130 hectares de superficie; le premier puits d'extraction a déjà donné plus de 400,000 kilogrammes d'huile brute. En prenant pour base la moyenne de cinq tonnes de déblais par chaque mètre d'avancement, la production journalière de 3,000 kilogrammes d'huile brute, provenant de la distillation de ces déblais, représente à peine l'exploitation d'un demi-hectare par année, indépendamment de l'huile liquide naturelle qui s'écoule par suintement.

L'exploitation du pétrole, à la mine de Schwabwiller, consiste à provoquer sans cesse de nouveaux suintements par l'établissement successif de galeries destinées à faciliter l'écoulement du pétrole naturel qui se rassemble au fond du puits; les déblais, consistant en sables imprégnés d'huile minérale, sont soumis à la distillation. Le rendement industriel dépasse 10 p. 100 du poids du sable ou grès soumis à la distillation, ce qui établit à 11 francs au maximum, sur le carreau de l'usine, le prix de revient par 100 kilogrammes d'huile brute.

Le pétrole de Schwabwiller contient une faible portion d'essence; il rend 80 p. 100 de son poids d'huile d'éclairage; il donne 2 p. 100 de son poids de paraffine, et des goudrons d'une finesse extrême et très-estimés.

Le petit plan que nous donnons plus loin, page 372, indique l'allure du gîte pétrolifère. Ce gîte est formé de lentilles séparées incomplétement par des étranglements EE perpendiculaires à leur ligne de direction; les failles *g g* les recoupent. Ce sont plutôt des glissements, car il n'y en a point de vide entre les deux épontes de la faille. Les fissures *f f*, perpendiculaires aux glissements, sont tapissées de mastic, et donnent en abondance de l'eau salée et de l'huile lorsqu'on les recoupe. Les grès deviennent durs et stériles aux étranglements, aux glissements et au contour de la veine formée par la série de lentilles.

Les sondages B et C ont trouvé la couche au même niveau que le puits A (32 mètres). Le sondage D a trouvé une couche à 50 mètres, une veine inférieure, par conséquent, à celle qui fait l'objet de l'exploitation actuelle.

Le grès laisse spontanément suinter son huile dans les galeries jusqu'à ce qu'il ne contienne plus que 2 p. 100 d'huile. Pour apprécier la proportion d'huile contenue originairement, on peut compter que l'on a pris l'huile depuis l'extrémité *k* jusqu'à l'étranglement EE; on a retiré 585 tonnes, et ce n'est pas épuisé, soit 600 tonnes d'huile retirée et 2 p. 100 encore contenue. Cette étendue de couche donne environ 3,200 mètres cubes, soit 6,400 tonnes, soit 9 p. 100 d'huile retirée et 2 p. 100, c'est 11 p. 100.

La couche plonge, comme tous les bancs de marne, vers le sud magnétique, de 35 centimètres par mètre. Les failles ont une inclinaison de 45° environ, et les fins de couche se font suivant un angle assez raide de 30 degrés environ.

Italie. — Dans l'arrondissement de Chieti (Abruzze citérieure), on connaît trois dépôts de pétrole, exploités avec peu d'activité. Ces huiles minérales sont raffinées à Porto-Reconati, par M. Ribighini.

Dans l'Émilie, il y actuellement dix-neuf puits en exploitation, produisant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

annuellement 9,628 kilogrammes de pétrole. Dans le territoire de Plaisance et de Parme, et particulièrement dans les environs de Fornovo, Medesano et Gropperello, des sources de pétrole, autrefois abondantes, sont aujourd'hui presque taries. Des Compagnies se sont organisées pour en reprendre l'extraction.

Les exposants italiens qui ont envoyé du pétrole et des huiles minérales à l'Exposition sont assez nombreux. M. Brichetti a exposé des échantillons de pétrole de Rivanazzano, près de Pavie, contenant :

Pétrole, 1re qualité	40.0
Pétrole couleur de paille	25.0
Pétrole coloré	20.0
Goudron	10.0
Perte	5.0
	100.0

MM. Laschi, Thovazzi, Fairmann, Ribighini, ont exposé des échantillons d'huiles minérales du Vicentin, du Pamersan, du Modenais.

M. Maire, de Tocco-Casauria, a fait connaître plusieurs qualités de pétrole : pétrole brut, provenant de Tocco-Casauria ; pétrole léger et pétrole pesant, tirés des puits artésiens. La production est de 5 à 600 kilogrammes par jour ; le prix moyen est de 30 francs le quintal.

Roumanie. — La Roumanie est une contrée très-riche en gisements pétrolifères ; la quantité de pétrole produite par la Moldavie et la Valachie réunies n'a pas été inférieure à 9,000 tonnes, pour l'année 1866. Le pétrole brut exporté à Marseille a été de 2,712,886 kilogrammes, contre 8,195,229 fournis par l'Amérique.

Les principaux gisements, dont les échantillons ont figuré à l'Exposition, sont ceux de Sarrata, de Moniezti, Plojezti, Colibash, Baïkai et Tzinta, présentant la composition suivante, d'après M. Chiandi :

	I. Modreni.	II. Plojezti.	III. Plojezti.	IV. Sarrata.
Essences	17.5	20.0	25.0	10.0
Huile blanche	62.0	45.0	40.0	40.0
Huile lourde	14.0	15.0	12.5	14.0
Goudron	4.5	17.5	20.0	33.0
Eau et perte	2.0	2.5	2.5	3.0
	100.0	100.0	100.0	100.0
Densités	0.82 à 15°.6	0.85	0.855	0.88

Les huiles de Modreni valent les huiles d'Amérique de première qualité.

Selon M. Coquand, il y a deux niveaux de pétrole dans les Carpathes : le premier correspond à l'étage éocène ; le deuxième, au miocène. Les pétroles se montrent, dans ces montagnes, satellites inséparables de l'éocène et du miocène, de la même manière que les minerais de fer de la Voulte, de Salins, de Chatillon-sur-Seine, sont les satellites des étages du lias, de l'oolithe inférieure et de l'oxfordien inférieur dans lesquels ils sont enclavés.

Dans le secteur autrichien se trouvent aussi quelques représentants des gîtes pétrolifères de la Gallicie, de la Hongrie, de la Bukowine.

Russie. — Elle possède de nombreuses sources de pétrole dans les régions du Caucase et en Sibérie ; mais cette industrie de l'empire russe n'a été représentée, à l'Exposition de 1867, que très-faiblement, et sans proportion aucune avec la richesse et la production du pays. De nouvelles sources ont été récemment découvertes ; mais les seules exploitations régulières sont celles du midi de la Russie : la Circassie a expédié en 1866, sur le port de Marseille, 355,000 kilogrammes de pétrole.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTATS-UNIS. — L'exploitation du pétrole américain n'a commencé qu'en 1853; plusieurs centaines de puits importants sont actuellement en exploitation en Pennsylvanie et au Canada. Ces puits, d'une profondeur de 10 à 20 mètres, et d'un diamètre de 1m.20 à 2m.10, reçoivent un cuvelage jusqu'à la rencontre de la roche. Des réservoirs ou citernes, de 22 à 90 hectolitres de capacité, reçoivent l'huile minérale que des pompes y conduisent.

Depuis 1861, la production du pétrole a augmenté d'une manière considérable; les évaluations les plus modestes la fixent à 57,000,000 de litres par semaine.

Les Américains qui ont exposé des pétroles sont :

M. Smith, à Baltimore (Maryland), pétrole pour l'éclairage et le graissage des machines; M. Mariatta, pétrole brut pour le graissage des machines; M. Belmont, à Philadelphie, pétrole brut et raffiné, benzine, paraffine. Enfin, les États de la Lousiane et de Virginie ont envoyé des échantillons de pétrole brut et raffiné, provenant des gîtes qu'ils possèdent dans leur territoire.

Les huiles de pétrole du Canada sont inférieures à celles des États-Unis; elles sont plus désagréablement odorantes, elles répandent une odeur infecte. Mais, malgré leur défaut, elles trouvent un débouché dans la consommation américaine.

V

Argiles céramiques.

Les argiles sont des masses terreuses plus ou moins endurcies, généralement onctueuses au toucher, qui jouissent de la propriété de happer à la langue, d'absorber l'eau et de former avec ce liquide une pâte plus ou moins plastique. Au feu, elles se durcissent et se contractent, sans se fondre, à moins qu'elles ne soient mélangées d'oxydes métalliques.

La composition des argiles est très-variable; elles contiennent constamment de la silice, de l'alumine et de l'eau, mais les proportions de ces matières varient avec les gisements et même dans un même gîte.

Les argiles proviennent généralement de l'altération des roches feldspathiques; lorsqu'elles ne sont pas pures, elles sont mélangées à des oxydes et des sels métalliques, tels que le calcaire, le gypse, la giobertite, l'oxyde ferrique, etc. Le kaolin est la plus pure des argiles, puis viennent les argiles à poteries ou argiles plastiques.

KAOLIN. — L'Exposition renferme des produits nombreux fabriqués avec du kaolin; les porcelaines de la France, de la Saxe, de l'Angleterre, de la Russie, de la Chine, etc., rivalisent entre elles par leur beauté et l'art avec lequel elles ont été décorées. La céramique a ses artistes spéciaux, peintres, décorateurs, sculpteurs, chimistes, qui tous concourent à la perfection des produits livrés par les manufactures auxquelles ils ont attaché leur nom et leur gloire. Nous abandonnons, quoiqu'à regret, au rédacteur spécial chargé, dans ces *Études*, de la céramique, la tâche agréable de faire connaître l'exposition des porcelaines et d'apprécier le mérite relatif des produits exposés dans les diverses sections. Notre rôle plus modeste se réduira à l'examen des matières premières avec lesquelles sont fabriquées les différentes sortes de poteries, depuis l'œuvre d'art sortant de la Manufacture impériale de Sèvres et destinée au salon d'une tête couronnée, jusqu'à la modeste brique qui soutient la grille du foyer de nos ouvriers.

Le kaolin résulte de la décomposition du feldspath-orthose (pétunzé des Chi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nois), ou est lui-même un feldspath altéré. Les roches kaoliniques sont en général d'un blanc parfait ou légèrement rosé, parfois un peu jaunâtre; leur texture est lâche, terreuse ou grenue. Les grains de ces roches sont le quartz ou le feldspath qu'on sépare, par lavage, du minéral argiloïde blanc, maigre et infusible au chalumeau, qui forme la pâte ou la matière de la porcelaine.

Les gisements du kaolin se trouvent dans les contrées où dominent les roches granitiques : Pyrénées, Bretagne, Limousin, etc.; mais le kaolin susceptible d'être employé à la fabrication de la porcelaine, est toujours fort rare. La plupart des kaolins renferment une certaine quantité d'oxyde ferrique qui colorerait la pâte; d'autres contiennent une proportion de potasse qui les rendrait fusibles à la température des fours à porcelaine.

On peut se rendre compte de la formation du kaolin, en supposant que le feldspath se décompose en trisilicate potassique ($KO, 3\,SiO^3$) et en silicate aluminique (Al^2O^3, SiO^3), sous l'influence de l'eau, de l'air humide, de l'acide carbonique, aidés des forces électro-chimiques. Le trisilicate potassique, sous l'influence de l'eau, se dédouble en silicate potassique (KO, SiO^3) soluble et en silice, et le silicate aluminique prend deux équivalents d'eau et devient kaolin ($Al^2O^3, SiO^3, 2\,Ho$).

Il existe de beaux gisements de kaolin en Chine, en Saxe, dans le Cornouailles, etc. En France, les gisements les plus importants sont ceux du Limousin (Saint-Yrieix), de l'Allier, de la Bretagne, des Pyrénées; l'argile kaolinique y résulte de la décomposition de pegmatites très-feldspathiques. Le gîte de Louhoussoa (Basses-Pyrénées) fournit du kaolin aux fabriques de Saint-Gaudens et de Toulouse. Ces fabriques de porcelaine en retirent aussi une certaine quantité de l'Ariége.

Le gîte de Saint-Yrieix, découvert en 1765, fournit exclusivement à la manufacture impériale de Sèvres, et alimente de nombreuses fabriques de porcelaine à Limoges et dans les pays environnants. Il renferme trois variétés de kaolin, savoir : 1° le caillouteux, grenu, friable, à grains quartzeux et durs ou argileux et friables; 2° le sablonneux, friable, maigre au toucher, contenant du quartz à l'état de sable très-fin; 3° l'argileux, moins friable et assez doux au toucher, fait avec l'eau une pâte assez liante.

Les kaolins de Saint-Yrieix sont représentés par l'exposition de M. Dutheillet de Lamothe, qui contient, en outre, des kaolins lavés et décantés sous la forme d'une pâte blanchâtre. L'analyse a donné pour leur composition :

Silice	47.50
Alumine	37.00
Eau	12.50
Alcalis (potasse, soude)	3.00
	100.00

La pâte à porcelaine de Saint-Yrieix et du Limousin se vend sur place 80 à 120 francs la tonne; les produits bruts d'extraction se vendent 60 à 80 francs la tonne; les produits écoulés 50 à 60 francs.

Le kaolin de Saint-Yrieix sert à confectionner la pâte de la porcelaine à la manufacture de Sèvres; on emploie le dosage, suivant selon la qualité de porcelaine à produire.

	Pâte de service.	Pâte de sculpture.
Kaolin lavé	64.0	62.0
Craie de Bougival	6.0	4.0
Sable d'Aumont	20.0	17.0
Sable feldspathique	10.0	»
Sable quartzeux	»	17.0
	100.0	100.0

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La couverte des porcelaines est formée d'une matière vitreuse, fusible à une température inférieure à celle à laquelle la pâte commencerait à se ramollir ou l'objet à se déformer. La couverte des porcelaines est généralement fournie par une pegmatite (quartz et feldspath); à Sèvres on emploie la pegmatite du Limousin.

Il faut que la couverte ait une certaine affinité pour la pâte céramique, afin qu'elle s'étende sur toute la pièce et s'incorpore dans son intérieur; enfin il est nécessaire que la glaçure présente la même dilatabilité pour la chaleur que la pâte.

MM. Cornet père et fils, de Limoges (Haute-Vienne), ont exposé des kaolins de Marsac et Pierre-Fiche; divers échantillons de kaolin caillouteux, blanc, plus fin et plus beau que celui de Colettes ; kaolin argileux blanc, très-beau ; kaolin préparé pour fabriquer la porcelaine, échantillons d'orthose et de pegmatite.

Les kaolins de Colettes (commune d'Echassières, Allier), exposés par le baron de Veauce, ont une grande analogie avec ceux du Cornouailles; ils ont même aspect, sont riches en alumine et renferment de la cassitérite (oxyde d'étain).

Le gisement de Colettes est un des plus considérables de la France ; le kaolin y forme une masse de plus de 60 mètres de puissance, sur une longueur de plus de cinq kilomètres; ce kaolin peut servir à la fabrication de la porcelaine et de la faïence, au blanchîment des toiles et apprêts, à la fabrication du sulfate aluminique; la production annuelle est d'environ 12,000 tonnes pour la commune d'Echassières seule. Le kaolin brut se vend sur les lieux de l'exploitation 6 francs les 1,000 kilogrammes, et 19 francs lorsqu'il est décanté.

Le kaolin de Colettes est composé de :

Silice	46.00
Alumine	40.00
Chaux	1.70
Eau	12.30
	100.00

M. le baron de Veauce a exposé de nombreux échantillons de kaolins à divers états et les produits fabriqués avec cette matière : kaolin blanc brut, caillouteux, grossier avec quartz et paillettes de mica; kaolin jaune brun, kaolin rose pâle, kaolin rose brut, avec quartz et mica; nombreux échantillons de kaolin décanté; divers échantillons de plusieurs produits obtenus avec le kaolin de Colettes : graisse à wagons, sulfate aluminique, alun, minerai d'étain, outremer.

Les variétés colorées en rose ou en jaune paille perdent ces nuances par la cuisson et donnent des porcelaines blanches.

Des briques réfractaires fabriquées avec le kaolin non lavé se trouvent à côté des produits précédents.

Les kaolins de l'Allier donnent des résidus de lavage dont la pâte est assez plastique pour se prêter à la fabrication des briques réfractaires, des cornues à gaz, etc.

La Bretagne est représentée à l'Exposition par de beaux kaolins envoyés par madame veuve Carré-Kerisouët (aux forges de Vaublanc) par Plémet (Côtes-du-Nord); kaolin caillouteux de Vaublanc, kaolin décanté pur, pegmatite encaissant le kaolin ; enfin des vases fabriqués avec le kaolin de Vaublanc à la manufacture impériale de Sèvres.

L'exploitation de ce kaolin s'étend aujourd'hui sur une surface de 1 kilomètre environ de longueur sur 500 mètres environ de largeur. La surface exploitée actuellement est d'un hectare environ ; l'excavation ne dépasse pas une profondeur de 2m.50.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le kaolin de Vaublanc est exporté en Angleterre et accepté sur le marché même de Limoges. D'après M. Salvetat, il est composé de :

Silice	47.00	à	48.00
Alumine	37.36	à	37.00
Oxyde de fer	0.75		2.50
Magnésie	0.48		
Chaux	0.15		
Alcalis	0.76		
Eau	13.50	à	13.10
	100.00		100.60

Les kaolins des Côtes-du-Nord sont probablement destinés à jouer un rôle important dans les arts céramiques de notre pays. Leur situation dans une contrée où les moyens de transports sont faciles et la main-d'œuvre peu élevée fait espérer que des fabriques de porcelaine s'établiront en Bretagne dans un avenir peu éloigné. Nos porcelaines dures ont une supériorité sur les porcelaines tendres que l'Angleterre nous expédie; elles trouvent un débouché dans toutes les parties de l'Europe et sont exportées même en Amérique.

Le Finistère a envoyé à l'Exposition des kaolins et des feldspaths de la baie de Roscof.

ARGILES A POTERIES. ARGILES PLASTIQUES. — Les argiles à poteries sont douées d'une certaine plasticité; elles font avec l'eau une pâte ductile qui se laisse pétrir et façonner aisément; elles contiennent de 9 à 15 pour 100 d'eau, et sont fréquemment mélangées de calcaire, d'oxyde ferrique, de bitume et de sable.

Les argiles plastiques servent à la fabrication des poteries fines ou grossières : elles se laissent difficilement pénétrer par l'eau, elles sont infusibles et résistent aux feux de forge les plus violents. Lorsqu'elles sont privées d'eau, elles contiennent en moyenne 57 pour 100 de silice et 43 pour 100 d'alumine.

Les terres de pipe sont des argiles plastiques pures et blanches dont le type se trouve dans les argiles de Montereau (Yonne); les argiles figulines sont des argiles plastiques communes, liantes, moins tenaces que les argiles plastiques elles-mêmes.

Les argiles calcaires sont fusibles à une haute température et impropres à la fabrication des poteries; elles servent à fabriquer des tuiles, des briques, des carreaux ordinaires.

Les argiles bitumineuses sont des mélanges d'argile et de bitume ou de charbon minéral, colorées en noir ou en brun; quand elles sont infusibles et bitumineuses, on les emploie à la fabrication des creusets qui servent à la préparation de l'acier fondu (Bavière, Angleterre).

C'est dans les terrains tertiaires que se trouvent les plus remarquables gîtes d'argiles exploitées; les plus estimées, parmi les argiles plastiques, sont celles d'Arcueil, d'Abbondant, de Forge-les-Eaux, de Bollène, de Vaugirard, etc.

Les argiles à poteries servent à la fabrication des creusets, des pots de verrerie, des cazettes à cuire la porcelaine, des pipes, de la faïence fine, des briques réfractaires. Pour les poteries grossières, les tuiles, les carreaux, les briques, on emploie les argiles figulines et les argiles marneuses et ferrugineuses.

Les argiles plastiques des environs de Paris (Arcueil, Vanvres, Gentilly, Vaugirard, etc.) servent à la fabrication d'excellentes poteries, des creusets dits de Paris, des cornues, des tubes, des fourneaux pour les laboratoires de chimie, et d'autres produits réfractaires qui figurent à l'Exposition. Elles présentent la composition suivante :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	I. Arcueil.	II. Vanves.	III. Montereau.
Silice	61.13	51.94	64.40
Alumine	22.00	26.20	24.60
Oxyde ferrique, chaux, magnésie	5.76	6.90	»
Eau	11.11	14.96	11.00
	100.00	100.00	100.00

Les argiles de Bollène (Vaucluse) sont aussi représentées à l'Exposition ; on fabrique avec elles des pots de verrerie, des creusets, des tubes, des fourneaux, des cornues, etc.

Les terres et produits réfractaires exposés par M. Bonand, à Montaret, par Souvigny, proviennent des gîtes de l'Allier ; l'argile propre à la fabrication de briques pour fourneaux et autres objets résistant au feu se vend 8 francs les 1,000 kilogrammes. Les argiles ordinaires paraissent être le résultat de la décomposition ou de la destruction des éléments des roches anciennes, dont les parties très-divisées sont restées longtemps en suspension dans l'eau, avant de se déposer sous forme de vases. Leurs couleurs sont très-variables ; parfois elles sont diversement colorées. Elles se trouvent dans tous les terrains sédimentaires, mais principalement dans les plus récents.

Les produits des arts céramiques sont nombreux au Champ de Mars ; sans y comprendre les objets destinés aux usages domestiques et à l'ameublement, les classes 40, 47 et 65 renferment des matières premières et des appareils fabriqués avec ces matières, destinés au chimiste, au métallurgiste, à l'industriel et au constructeur.

Les briques ordinaires et les briques réfractaires se trouvent à côté des tuiles. La plastique monumentale nous offre une riche exhibition, dont les plus éminents représentants français sont MM. Fouques et Arnoux (Toulouse), Virebent. Muller, Clémandot ; à l'étranger, nous signalons la magnifique exposition de M. H. Drasché, de Vienne, celle de M. March, de Berlin.

Les carreaux propres aux planchers des habitations sont fabriqués avec une argile lavée, dont la pâte est plus fine que celle destinée aux tuiles et briques. En France, on fabrique de beaux carreaux ; nous citerons les produits de cette nature exposés par MM. Villeroy et Boch, par M. Boulanger ; en Angleterre, par MM. Minton, Hollins et C^e^, MM. Mawes et C^e^.

La Belgique fabrique des carreaux, des briques, des tuiles, des tuyaux de drainage et des poteries communes sur une échelle assez étendue, pour que son exportation en 1864 se soit élevée à près d'un million de francs.

Les produits réfractaires, sous forme de briques, de creusets à zinc, de cornues à gaz, d'appareils destinés aux fabriques de produits chimiques, ont une importance considérable en Belgique, qui en 1864 en a exporté pour une valeur de 738,975 francs. Ces produits se distinguent par leur bonne confection et le bas prix de la fabrication ; les argiles nécessaires à cette industrie sont tirées d'Andenne, de Seilles (Namur), etc.

MM. Timsonet et Dartet (Namur), qui ont obtenu une mention honorable en 1851, ont exposé des terres réfractaires ou argiles plastiques pour creusets, briques, pipes. Les briques réfractaires de M. Baudour-Fontaine pour four à chauffer et à puddler sont vendues, à Baudour (Hainaut), 25 francs la tonne ; celles de M. Coste de 20 à 50 francs les 1,000 kilogrammes.

Madame Cambier, à Mons, M. Coste, à Tilleur, M. de Dorlodot, à Acoz, M. de Fuisseaux, à Baudour, M. de Lattre, à Couillet, ont exposé des produits réfractaires : briques, creusets, cornues, fourneaux, pots de verrerie.

Les poteries fines, porcelaines, grès cérames et la fabrication des pipes ont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une certaine importance en Belgique. Les pipes se fabriquent à Andenne (Namur), à Nimy (Hainaut), à Brée (Limbourg); mais cette industrie est dans un état précaire, à cause de la concurrence que lui font la France et les Pays-Bas.

Les fabricants de porcelaines du Hainaut, du Brabant, de la province de Namur tirent le kaolin qu'ils emploient de la France et de l'Angleterre. Malgré cette situation, les porcelaines belges sont exportées sur les marchés étrangers ; mais nos porcelaines leur font une concurrence redoutable.

L'industrie des terres cuites a jadis été très-florissante en Italie ; malgré sa décadence, l'exportation se compte par plus de deux millions et demi. En Piémont, M. Antoine Cherasco fabrique des articles de décoration en terre cuite, des poëles, des calorifères en forme de statues, des tuyaux de drainage. M. de Boni, de Milan, dirige une manufacture de terres cuites à imitation, qui produit des jambages de portes et fenêtres, poëles, vases, statues, ornements pour décoration de maisons et autres objets, pour façades d'édifices. Les fabriques d'Ariago, de Loreggio, dans les provinces vénitiennes, et quelques autres en Toscane produisent les mêmes articles.

Les deux plus importantes fabriques de porcelaine de l'Italie sont celles : 1° de San Cristoforo, près de Milan ; et 2° de Sesto, aux environs de Florence.

Les matières premières, de provenance italienne, employées dans la fabrique de San-Cristoforo, sont : argiles alumineuses (4,400 quintaux métriques), de craie (100 quintaux métriques), kaoliniques (1,900 quintaux métriques) et réfractaires (4,260 quintaux métriques), silex (2,500 quintaux métriques), feldspath (700 quintaux métriques), carbonate de chaux (75 quintaux métriques) de soude (30 quintaux métriques), sulfate de chaux (600 quintaux métriques), acide borique (26 quintaux métriques). Les matières premières fournies par l'étranger consistent en argiles alumineuses (500 quintaux métriques), réfractaires de première qualité (600 quintaux métriques), silicate d'alumine (600 quintaux métriques), oxydes colorants, cobalt, chrôme, manganèse, or, argent, platine.

La fabrique de porcelaine de Sesto a exposé des vases étrusques avec figures en relief, des statuettes et des bustes en biscuit, des porcelaines tachetées, etc. MM. Taiani (Gênes), Della Rosa (Parme), Cocchi (Carrare), Biagi (Florence), Pazzoni (Parme), Tofanari (Florence), Rondoni (Parma), Zamori (Ferrare), Piccardi (Montecchio), Santeolini (Arezzo), Maugani (Pérouse), Guerrieri (Pesaro), Colonnese (Naples), etc., ont envoyé au Champ de Mars des terres cuites façonnées en briques ordinaires et briques réfractaires, briques à jour, carreaux à paver de diverses qualités, carreaux vernis et peints, tuyaux de drainage et pour aqueducs, etc.

Les matières premières qu'emploie l'industrie des arts céramiques, kaolins et argiles, ont été exposées par MM. Albesano, de Turin ; Consolati, de Vérone ; di Laconi, de Cagliari, qui nous ont fait connaître les kaolins d'Italie.

Les argiles blanches pour faïence de Vicence, d'Arezzo, de la Calabre, des environs de Naples figurent à l'Exposition avec les noms de MM. Novi (Naples), Mazzittelli (Catanzaro), Gargini (Arezzo), Della Vecchia (Vicence). M. Della Vecchia Alexandre (Vicence) exploite une argile blanche à poterie dont la production s'élève à 280,000 kilogrammes par an.

En Angleterre, le centre le plus important de l'industrie des terres cuites se trouve dans le Staffordshire, à Glasgow, Worcester, Newcastle, Lambeth et Stourbridge. 80,000,000 de briques sont annuellement produits par le district de Newcastle et environ 30,000,000 par celui de Stourbridge, sans compter les cornues et les tuyaux de drainage dont il se fabrique de très-grandes quantités. Lambeth fait principalement la poterie de grès, tandis que Worcester fabrique des poteries de qualité supérieure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les matières premières sont fournies par les comtés de Dorset, de Devon, de Cornouailles, de Stafford, York, Derby.

Le kaolin de Cornouailles présente la composition suivante :

Silice	46.63
Alumine	24.06
Eau	8.74
Alcalis	0.60
Résidu non argileux	19.65

D'après les relevés officiels, 374,358 tonnes d'argile et de terre à porcelaine ont été extraites dans le courant de l'année 1865, et 751,566 tonnes d'argile réfractaire fournies par les comtés de Stafford, York, Derby, etc. La consommation annuelle, dans les poteries du Staffordshire, des argiles préparées, s'élève à environ 160,000 tonnes. L'exportation des kaolins anglais s'élève à plus de 100,000 tonnes par an. Les argiles plastiques du Devonshire sont composées de :

Silice	49.60
Alumine	17.40
Oxyde ferrique	10.00
Eau	12.20

Les exposants anglais de la classe 17 sont MM. Adams et C^e^, fabricants de faïences et de poteries imitant le jaspe ; MM. Copeland, Gorde, Wedgwood, fabricants de porcelaines ; MM. Allen, Brownfield, Doulton, Jones, Pluder, Price, Primaven qui ont exposé des faïences, grès et terres cuites d'ornement.

Les kaolins de Cornouailles donnent des résidus de lavage dont la pâte est assez plastique pour se prêter à la fabrication des cornues à gaz, des briques et autres produits réfractaires.

Les porcelaines anglaises sont très-estimées : la délicatesse des formes, la perfection du dessin, la beauté de l'émail, les rapprochent des porcelaines françaises ; mais leur pâte tendre, cuite à basse température, les rend inférieures à nos porcelaines dures, produites avec les kaolins du Limousin.

Les exposants anglais qui ont envoyé au Champ de Mars des argiles plastiques et des produits obtenus avec ces matières sont :

MM. Whiteway, la Compagnie West of England China stone and Clay, Juleff, Smaile, Blanchard, Blashfield, Boote, Brooke, Gallichan, Godwin, etc., qui ont exposé des creusets, des briques réfractaires, des briques pour constructions, des argiles pour la fabrication des pipes et des poteries, des objets d'ornementation en terre cuite, des carreaux, etc. Bien entendu que nous ne nous occupons nullement ici des exposants de la classe 17.

Les kaolins de Saxe, qui sont employés à la manufacture royale de porcelaine de Meissen, donnent des produits d'une qualité supérieure ; ils présentent la composition suivante, d'après MM. Brongniart et Malagutti :

	I. Kaschna.	II. Seclitz.	III. Schletta.	IV. Morl.
Silice	1.82	9.10	0.67	4.44
Silice combinée	27.60	31.68	38.48	21.69
Alumine	25.00	34.16	20.92	22.50
Eau	9.80	12.10	7.26	7.55

La manufacture royale de Saxe, fondée en 1710, ne produit que des articles de porcelaine ; elle occupe 322 ouvriers ; en 1865, la valeur de la production totale a été de 189,896 thalers. Les produits sont exportés en Allemagne, en Russie, en Angleterre, en France et dans l'Amérique du Nord.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La manufacture royale de porcelaine de Berlin, fondée par Frédéric II, occupe 300 ouvriers; elle ne produit que de la porcelaine dure, qui trouve un écoulement en Allemagne : une minime partie seulement est exportée en Angleterre et dans l'Amérique du Nord.

La fabrique de porcelaine d'Alwasser (Silésie), fondée en 1845 par M. Tielsch, emploie aussi le kaolin qui se trouve aux environs de Meissen. Les porcelaines, les faïences ordinaires et émaillées, les poteries sont représentées, dans le secteur prussien, par un nombre considérable d'exposants.

La manufacture royale de Berlin a exposé : vases et potiches d'ornement, cruches allemandes, peintures sur porcelaine, photographies incrustées sur porcelaine, garnitures de table, travaux plastiques en biscuit, services de plusieurs espèces.

Celle de Saxe : vases avec peintures, tableaux, candélabres, groupes.

Un groupe colossal occupe le centre de l'étagère de la manufacture de Meissen; des candélabres l'accompagnent. A l'entour se trouvent des vases décorés de figurines d'une grande finesse d'exécution; des glaces à cadre en porcelaine sont appliquées sur les parois de l'étagère.

MM. Krister (à Waldenbourg), Tielsch, Haag, fabriquent de la porcelaine; leurs manufactures, très-importantes, produisent, chaque année, pour des sommes considérables.

La maison Villeroy et Boch, fondée en 1836, fabrique tous les produits céramiques : porcelaine dure allemande, porcelaine anglaise, porcelaine faïence, faïence émaillée, faïence ordinaire, poterie de cuisine, carreaux de mosaïque, plastiques en terre cuite blanche pour l'ornementation et la décoration.

Mais les produits particuliers à cette importante maison sont les plaques richement décorées pour carrelage; les couleurs se trouvent dans la masse même, ce qui rend ces carreaux supérieurs à ceux de Minton et Cie (Angleterre).

En 1865, la fabrique de MM. Villeroy et Boch a traité plus de 150,000 quintaux de matières premières; cette énorme consommation donne une idée de l'importance de sa production, qui trouve un débouché dans presque toute l'Europe.

L'industrie des terres cuites ordinaires et des argiles réfractaires est représentée par les produits exposés par MM. Zoëller, Vidal, Lepper et Kuettner, Augustin, Hœppli, Heubach, Hirschberg, Friedenthal, Sachsenberg, Vygen.

La Russie possède des gîtes de kaolin; mais la production nationale n'est pas suffisante pour la consommation. L'industrie céramique est obligée de s'approvisionner à l'étranger, principalement en Angleterre.

La manufacture impériale de porcelaine de Saint-Pétersbourg a été fondée en 1744; elle occupe 230 ouvriers, et produit annuellement pour une somme de 100,000 roubles ou 400,000 francs. Elle tire des diverses parties de l'empire ou de l'étranger les matières premières qu'elle emploie : le kaolin lui vient des environs de Gjel, dans le gouvernement de Moscou; de Gloukhov, dans le gouvernement de Tchernigow, et d'Angleterre; les argiles réfractaires lui sont fournies par les gouvernements d'Olonetz et de Novgorod; enfin, le quartz et le feldspath lui viennent de la Finlande.

La manufacture impériale de Saint-Pétersbourg a exposé, sur une riche étagère, une magnifique collection d'objets en porcelaine; nous ne pouvons résister au désir de citer le vase en forme de bandeau, d'une hauteur d'environ 2 mètres, qui se trouve au centre, étincelant d'or; ses anses, recourbées en crosses, reposent sur deux têtes de taureau; sur le bandeau, d'un côté, est le portrait de Rubens, de l'autre son tableau de l'*Enlèvement d'Europe*. Un autre vase, peint en forme de fuseau, est orné d'une copie d'un intérieur de Gérard Dow.

L'administration des domaines de l'État du gouvernement de Tauride, dont le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

siége est à Simféropol, a envoyé des poteries fabriquées par les Tatars de Crimée. Des poteries caucasiennes ont été recueillies par la Société agricole du Caucase (Tiflis); enfin, M. Gardner, à Virbilki, a exposé plusieurs échantillons, livrés par sa fabrique de porcelaine, qui emploie 300 ouvriers, et produit annuellement pour 200,000 roubles.

Les terres cuites ordinaires, tuyaux, briques, fabriquées à la main et à la mécanique, ont été exposées par M. Rasteriaieff, qui fabrique annuellement pour une somme de 85,000 roubles de briques rouges et vermeilles, et M. Tschetchouline, à Helsingfors (Finlande), qui produit annuellement 300,000 briques à la main et à la mécanique, et 1,000,000 de tuyaux de drainage, pour une somme de 48,000 roubles.

Les Pays-Bas sont riches en gisements d'argile; aussi l'industrie des terres cuites communes y a pris une grande extension. Les briqueteries, les tuileries et les fabriques de poteries (5 à 600) sont établies surtout dans la Gueldre, l'Overyssel et la Hollande méridionale, et produisent annuellement plus de 400 millions de briques.

La fabrication des pipes à fumer est assez importante en Hollande, pour faire une concurrence redoutable à la Belgique, même sur son propre marché. MM. Van Gru, Prince, à Gouda, ont exposé des pipes à fumer. Les briques ordinaires sont représentées par les briqueteries de Leyde (M. Truffino), d'Erlecom (M. Heukelom), de Westraven (M. Bavesteijn), d'Utrecht (M. Broeke); enfin, M. Enthoven a exposé des briques réfractaires, et M. Regout (de Maestricht), des faïences.

Le Danemark a exposé quelques beaux échantillons de kaolin, avec de l'étain oxydé.

Les porcelaines suédoises ont pour exposants les deux fabriques de Gustafsberg et de Rorstrand, près de Stockolm.

L'exposition du Chili nous a fait connaître les kaolins de San-Lorenzo et de Haguel.

Le kaolin de San-Lorenzo, département de la Ligua, province d'Aconcagua, provient de la décomposition d'une roche feldspathique. Un autre échantillon est traversé par des veinules étroites et irrégulières d'un hydro-phosphate d'alumine et de cuivre.

Le kaolin de Haguel contient de petits grains de quartz; ce n'est qu'une pegmatite, décomposée au voisinage des sources thermales. Au Chili, on emploie ce kaolin dans la construction des fours à réverbère.

VI

Minerais métallifères.

France. — L'importance industrielle d'un pays peut se mesurer par la production du fer. La France, quoique moins privilégiée que certaines contrées voisines, occupe un rang distingué dans la production du fer, de la fonte et de l'acier.

Les minerais de fer français sont d'une qualité inférieure à ceux de la Suède, de l'Angleterre, de la Sardaigne, de l'île d'Elbe, de l'Espagne; mais leur facile exploitation, leur abondance, compensent ce qui leur manque en qualité; d'ailleurs, les fonderies qui traitent nos minerais oolithiques et pisolithiques empruntent à l'étranger les minerais qui leur sont nécessaires pour produire des lits de fusion ou des mélanges répondant aux exigences de la consommation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La richesse sidérurgique de la France consiste principalement en limonites (fer peroxydé hydraté) pisolithiques ou en grains; les oligistes et les carbonates, sans y être rares, ne se rencontrent ni en couches, ni en filons assez puissants pour approvisionner nos hauts-fourneaux à eux seuls; les hématites et les minerais oolithiques viennent, par rang d'importance, à la suite des minerais en grains.

Un autre inconvénient de l'industrie sidéritique de la France, c'est que les gisements du minerai de fer sont généralement éloignés des bassins houillers : nous n'avons pas, sur le même point, comme en Angleterre, le minerai et le combustible pour le fondre. Les gîtes du minerai de fer d'alluvion se trouvent sur nos plateaux jurassiques ou crétacés, et par suite assez distants des terrains primaires qui renferment la houille. Les carbonates de fer (sidérose), et les hématites brunes et rouges forment des filons dans nos grandes chaînes montagneuses, loin des centres de production houillère; le minerai des houillères n'est pas assez abondant en France pour alimenter les hauts-fourneaux qui brûlent nos houilles.

Mais malgré cette infériorité, due à la position de nos gîtes ferrugineux et à la qualité des minerais qu'ils donnent, l'industrie sidérurgique française est l'égale, et quelquefois même elle devient supérieure à ses rivales. Ce qu'elle possède en moins, elle le rachète amplement par les procédés de traitement métallurgique, l'entente des bonnes méthodes, les mélanges convenables, et ce je ne sais quoi, qui fait de chacun de nos ingénieurs, de nos chefs d'atelier, un artiste ou un chercheur. La méthode de traitement ou d'exploitation, qui résulte des concours de ces différentes forces, si je puis m'exprimer ainsi, finit toujours par être excellente.

Le procédé de fabrication de l'acier, tel que l'a donné Bessemer, n'est devenu pratique et industriel qu'en passant par les mains de nos métallurgistes.

La France possède des gîtes de tous les métaux usuels : le plomb, le cuivre, l'étain, le zinc, etc., y forment des filons assez importants, pour donner lieu à des exploitations industrielles; l'argent et même l'or s'y trouvent en quantités assez notables pour être recherchés.

Nous allons passer en revue les minerais métallifères exposés dans la section française, en commençant par ceux du métal le plus important et le plus utile : le fer.

Fer. — Le fer, en se combinant à l'oxygène, au soufre, à l'arsenic, ou ses oxydes en se combinant avec les acides carbonique, phosphorique, silicique, titanique, tungstique, sulfurique, etc., a produit un nombre considérable de composés. Mais les seuls qui soient usités pour la fabrication de la fonte, de l'acier et du fer, sont les divers oxydes anhydres (magnétite, oligiste, hématite rouge), ou hydratés (limonite), le carbonate (sidérose), et plus rarement la chamoisite ou hydro-silicate de fer.

Ces minerais se réduisent à quatre espèces principales, savoir :

1° La magnétite ou fer oxydulé (Algérie, Suède, île d'Elbe, île de Sardaigne);

2° L'oligiste ou fer peroxydé anhydre (Vosges, île d'Elbe, Alpes, etc.);

3° La limonite ou fer peroxydé hydraté;

4° La sidérose ou fer carbonaté.

La magnétite donne une poussière noire; l'oligiste, une poussière rouge; la limonite, une poussière jaune rubigineuse, et la sidérose une poussière grise.

Les oxydes de fer sont les minerais les plus répandus; ils sont la base principale de l'industrie sidérurgique; les carbonates y jouent un rôle important. En France, le terrain houiller n'est pas riche, comme en Angleterre, en sidérose lithoïde; le bassin de l'Aveyron a, sous ce rapport, quelque analogie avec les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bassins houillers d'outre-Manche. Mais notre pays possède des gîtes importants de fer spathique à Allevard (Isère) et sur les pentes du Canigou, dans les Pyrénées-Orientales.

En France, la production des minerais de fer est évaluée à environ 2 millions de tonnes par an, dont la plus grande partie est fournie par les minerais pisolithiques; le restant provient des hématites et des sidéroses des Alpes, des Pyrénées, du bassin du Rhône et de l'étranger.

Certaines localités privilégiées, comme l'île d'Elbe, l'île de Sardaigne, la Suède, l'Espagne, l'Algérie, exportent des quantités considérables de minerai de fer. L'île d'Elbe expédie chaque année environ 300,000 tonnes d'oligiste et de magnétite. La Compagnie Petin-Gaudet traite une quantité considérable de fer oxydulé et oligiste de la Sardaigne, dont elle a acquis les mines les plus importantes (mines de Saint-Léon). M. Schneider et Cie, au Creuzot, traitent la magnétite de Mokta-el-Hadid, les fers oligistes micacés et métalloïdes de l'île d'Elbe.

Les mines des environs de Bone (Algérie) et de Garrucha (Espagne) expédient leurs minerais sur le littoral de la Méditerranée.

Les minerais de l'île d'Elbe, au titre de 55 à 66 p. 100, sont vendus et rendus à bord à 10 francs la tonne; les minerais de Villebois et de la Verpillière, traités à Givors et à Pont-l'Évêque, près de Vienne (Isère), sont vendus de 3 à 5 francs la tonne. Ces derniers minerais contiennent des phosphates; on les mélange avec des minerais d'une qualité supérieure, tels que les minerais de l'île d'Elbe, les carbonates de l'Isère, la magnétite de Mokta-el-Hadid, etc.

De toutes les industries métallurgiques, celle du fer est la plus importante; elle occupe en France plus de 500,000 ouvriers, et crée une valeur de plus de 150 millions de francs, non compris l'exploitation des forêts et de la houille.

En 1865, la production en fonte a été de 1,200,330,593 kilogrammes, et celle de fer 844,734,886 kilogrammes. D'après les documents réunis par le comité des forges, la production des forges françaises, pendant l'année 1866, a donné les chiffres suivants, en fonte et fer :

	FONTE.	FER.
Aveyron	34.988.520 kilogr.	41.865.335 kilogr.
Ardennes	111.219.609	75.797.678
Bassin de Paris	26.000.000	45.503.556
Centre	128.876.303	104.694.958
Champagne	133.730.775	79.559.744
Comté	74.890.679	55.053.077
Corse	14.945.675	620.000
Creusot	115.090.130	100.102.390
Escaut	71.357.000	63.863.390
Gard et Bouches-du-Rhône	39.156.260	19.855.740
Loire	192.107.000	184.467.654
Nord de la Moselle	175.326.877	91.028.684
Nord-Ouest	25.188.778	18.321.925
Sambre	77.864.465	68.063.693
Sud-Ouest	31.912.173	10 574.694
Totaux	1.252.653.644 kilogr.	899.373.813 kilogr.

Le prix des fontes, fers, aciers, est assez variable; les fontes se vendent en moyenne de 0 fr. 125 à 0 fr. 20 le kilogramme; les fers de 0 fr. 200 à 0 fr. 225; les aciers vont jusqu'à 0 fr. 25 et 0 fr. 35 le kilogramme.

Sur 1000 kilogrammes de minerai traités dans nos usines métallurgiques, il y en a 170 kilogrammes de minerai brut, 740 kilogrammes de minerai lavé et 90 kilogrammes de minerai grillé. La teneur moyenne des minerais lavés est de 36 p. 100 de fer métallique : on ne traite guère un minerai au-dessous de 25 à 30 p. 100.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le prix de revient des minerais de fer est en moyenne de 1 fr. 32 les 100 kilogrammes, rendus aux usines; dans ce prix, l'exploitation proprement dite entre pour 0 fr. 37; le lavage, pour 0 fr. 33; le grillage, pour 0 fr. 02, et les transports pour 0 fr. 59.

Caractères des diverses espèces de minerai de fer exposé.

1° *Magnétite ou fer oxydulé.* — La magnétite se trouve en grandes masses, qui sont tantôt grenues, tantôt compactes ou terreuses, tantôt en cristaux octaédriques ou en dodécaèdres rhomboïdaux, disséminés dans des roches amphiboliques ou serpentineuses. Ce minerai est très-riche, il renferme en moyenne 72 p. 100 de fer; il se traite avec la plus grande facilité, et donne un fer de très-bonne qualité. Les usines françaises qui emploient la magnétite pour faire des mélanges avec nos minerais la tirent de l'île d'Elbe, de la Sardaigne, de l'Algérie ou de l'Espagne. En France, nous en possédons quelques gîtes dans les Pyrénées, dans le Beaujolais, à Diélette (près de Cherbourg), à Combenègre, près de Villefranche (Aveyron).

La magnétite est généralement intercalée dans les strates ou les plissements des gneiss, des micaschistes et des roches métamorphiques (Diélette, Suède). Elle est quelquefois disséminée en cristaux isolés dans le schiste micacé, ou bien elle y forme des amas considérables (Combenègre). Dans les roches volcaniques, on rencontre souvent des cristaux de cette espèce; les roches amphiboliques sont très-riches en fer oxydulé : les beaux gisements de l'Oural, de la Suède, du Canada, des bords du Lac-Supérieur, sont associés à des roches amphiboliques. A l'île d'Elbe, la magnétite présente tous les caractères d'une roche éruptive, intercalée dans le terrain jurassique.

L'exposition des mines de Diélette, près Cherbourg (Manche), renferme des échantillons d'oligiste schisteux, de magnétite grenue et d'hématite du Boulonnais. L'exposant, M. Bérard, concessionnaire des mines, a aussi fourni les échantillons qui se trouvent sous la vitrine du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Le minerai de Diélette est un mélange, en proportions variables, de magnétite et d'oligiste, intercalé en filons-couches dans les schistes primaires de la plage de Diélette, qui, à peu de distance, reposent sur le granit. Les affleurements ne sont abordables qu'à la marée basse, et sont seuls exploités; des travaux souterrains et sous-marins vont être prochainement entrepris pour exploiter le gîte en profondeur.

Quatorze filons, inclinés de 75°, et atteignant parfois la verticale, ont été signalés; ils ont de 1m.50 à 9 mètres de puissance; leur direction est sensiblement parallèle au rivage.

Les minerais de Diélette sont un peu siliceux; ils donnent à l'essai de 45 à 50 p. 100 de fer. Dans les hauts-fourneaux de Maubeuge, et mélangés avec des minerais pauvres, ils ont donné de 41 à 48 p. 100 de fonte.

Ces minerais sont des schistes plus ou moins imprégnés d'oxyde de fer; sur certaines parties du gisement, l'oxydule s'isole à l'état de pureté : cette séparation, entre l'oligiste et la magnétite, a surtout lieu vers le sud, là où le gîte se ramifie.

Ces minerais n'ont à subir aucun traitement mécanique; les caractères extérieurs sont suffisants pour séparer les schistes imprégnés pauvres des véritables minerais.

Les minerais de fer de Diélette n'ont eu jusqu'ici, pour débouché, que les usines métallurgiques du Boulonnais et du pays de Galles. La majeure partie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du minerai a été consommée par l'usine de Montataire; une certaine quantité a été envoyée à Cardif, en échange de combustible à destination de Cherbourg. On se propose, paraît-il, d'établir des hauts-fourneaux à Cherbourg, pour y traiter les minerais de Diélette. Après leur fusion, l'acier et la fonte pourront, vu le prix peu élevé du minerai, être expédiés même en Angleterre.

M. Bérard, outre les minerais de Diélette, a exposé des aciers fondus, obtenus avec les minerais qu'il exploite.

La Compagnie des minerais magnétiques de Mokta-el-Hadid a envoyé au Champ de Mars d'énormes blocs d'une magnétite grenue, qui s'expédie en France où elle est très-estimée; on la mélange avec les minerais français de qualité inférieure. Le minerai renferme en moyenne 64 p. 100 d'oxyde de fer pour 36 p. 100 de gangue; il contient de 65 à 68 p. 100 de fer. Les usines Harel et Cie, à Givors (Rhône), celles de la Compagnie de Terre-Noire, la Voulte et Bessèges, la Compagnie des hauts-fourneaux et forges de Denain et d'Anzin, etc., traitent les magnétites de Mokta-el-Hadid.

Dans le secteur algérien, on remarque un énorme bloc de magnétite, d'un poids de 700 kilogrammes, retiré des mines de Mokta-el-Hadid, aux environs de Bône, province de Constantine; à côté de ce bloc colossal sont d'autres échantillons de fer oxydulé, exposés par MM. Girard et Nicolas, provenant aussi des environs de Bône.

La vitrine du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics nous offre aussi des minerais de fer magnétiques, provenant du département de l'Ariége : les gîtes sont à Rivernert-Rabat et à Rimont, où le minerai se présente en petits filons enclavés dans les roches amphiboliques, improprement désignées sous le nom d'ophites.

Le gisement de Rabat donne de la magnétite un peu pyriteuse et de l'oligiste compacte d'excellente qualité; celui de Rimont, un minerai magnétique pulvérulent.

Le minerai de Rivernert est une magnétite associée à une gangue réfractaire et à un peu de pyrite de fer; il donne de 40 à 42 p. 100 de fonte; il est livré en gare, à Saint-Girons, à raison de 7 à 8 francs la tonne : les exploitants ont extrait, en 1866, de 3,000 à 4,000 tonnes de minerai.

Le département des Pyrénées-Orientales fournit aussi des minerais de fer magnétiques; les gisements sont situés sur les versants du Canigou. Ces gîtes sont formés d'oligiste, de sidérose, d'hématite et de magnétite, et d'un calcaire plus ou moins cristallin en contact avec des schistes primaires ou avec des roches granitiques.

Les minerais de fer des Pyrénées-Orientales sont d'excellente qualité; ils sont manganésifères, d'une fusion facile et très-propres à la fabrication des aciers; leur rendement varie de 40 à 50 p. 100 en fonte. Ils sont consommés dans les hauts-fourneaux de Ria, et en partie exportés pour alimenter les usines du Gard, du Rhône et de la Loire; sur la mine, ils coûtent de 6 à 7 francs la tonne, et rendus en gare, à Perpignan, leur prix s'élève de 16 à 17 la tonne. Un échantillon de minerai magnétite de Balaigt a donné à M. Rivot :

Peroxyde de fer	80.55
Fer oxydulé	17.45
Gangue	2.00
	100.00

2° *Fer peroxydé anhydre ou oligiste.*— Le fer oligiste est moins riche que la magnétite; il contient seulement 60 p. 100 de fer. On en emploie plusieurs variétés dans les usines métallurgiques, savoir :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° Le fer oligiste métalloïde et spéculaire, mélangé de fer oxydulé et accompagné quelquefois de fer titané, d'oxyde de manganèse, de grenats, d'yénite et autres silicates de fer; il est plus rarement mélangé avec du fer chromé, des pyrites, de la dolomie, du calcaire. Ses gangues les plus ordinaires sont : le quartz et les micachistes (île d'Elbe, Pyrénées, etc.).

2° Le fer oligiste micacé se compose de paillettes peu adhérentes, très-friables; il tâche les doigts. Ses gangues sont : le quartz, le micaschiste, la dolomie, le calcaire; il contient toujours une proportion notable d'oxyde de manganèse. Il en existe des gîtes dans les Alpes, dans les Pyrénées, île de Sardaigne, etc.

3° L'oligiste schisteux est formé par des lamelles superposées affectant la structure schistoïde; généralement cette variété résulte d'un schiste argileux fortement imprégné d'oxyde de fer anhydre (Diélette).

4° Les minerais violets contiennent le peroxyde anhydre sous un état intermédiaire entre l'état cristallin et l'état compacte; ils sont intimement mélangés avec du quartz, de l'argile, plus rarement avec le calcaire et la barytine; ils contiennent assez souvent de l'oxyde de manganèse et quelquefois du phosphate ferreux.

Ces minerais sont de bonne qualité; ils donnent des fontes excellentes quand ils ne contiennent pas de phosphates ferreux. Ils sont principalement exploités en Belgique, dans la vallée de la Meuse, au-dessus de Namur, et transportés à Liège, Charleroi, Maubeuge.

5° L'hématite rouge, en masses fibreuses, rayonnées ou mamelonnées, contient presque toujours de l'argile et de l'oxyde de manganèse; elle donne des fontes excellentes.

6° Le fer oxydé rouge compacte ou granulaire, moins pur que l'hématite rouge, fournit cependant des minerais d'une grande richesse.

Le fer oligiste cristallise dans le système rhomboédrique; sa forme primitive est un rhomboèdre de 86° 10′ avec des clivages peu sensibles parallèlement aux faces du rhomboèdre. Les cristaux sont généralement complexes : ce sont des rhomboèdres, des scalénoèdres et des prismes à six faces plus ou moins modifiés.

Il est infusible au chalumeau, au feu d'oxydation; au feu de réduction, il fond difficilement en se transformant en fer oxydulé de couleur noire.

Le fer oligiste est naturellement rouge quand il est en masses terreuses ou fibreuses; lorsqu'il est cristallisé, il est métalloïde et d'un gris d'acier en masse, mais toujours d'un rouge foncé lorsqu'il est réduit en poussière (Baigorry, Framont, la Voulte, Beauregard, etc.).

L'oligiste métalloïde se trouve en filons puissants, en masses intercalées dans les terrains cristallo-phylliens, primaires et même secondaires : dans les Pyrénées, on le trouve associé aux roches dioritiques ou amphiboliques, où il forme des gîtes au contact du granite et des calcaires primaires et liasiques.

L'oligiste micacé se présente rarement en masses puissantes; il est presque toujours en veinules ou en couches assez minces dans le micaschiste (Alpes) ou dans les gîtes d'oligiste compacte ou de sidérose (Pyrénées-Orientales).

Dans les roches volcaniques, l'oligiste se présente en lamelles cristallines très-plates et brillantes (fer spéculaire), ou bien il tapisse des cavités ou des soufflures. Dans quelques gisements, le fer oligiste paraît s'être formé par sublimation; dans d'autres, par transport électro-chimique : tel est celui qui remplace des unios à Beauregard, près d'Avallon.

L'hématite rouge forme des filons dans les terrains cristallins et dans les ter-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rains primaires ; à Framont, dans les Vosges, ce minerai, associé à l'hématite brune, se présente sous la forme d'un filon irrégulier. Ailleurs il se présente en couches dans les terrains secondaires. Le minerai de la Voulte, de Veyras (Ardèche), est formé par l hématite rouge associée à la sidérose compacte ; il consiste en une couche de deux mètres d'épaisseur, intercalée dans l'oxfordien. Les fossiles transformés en minerai de fer, comme dans les couches de Beauregard, démontrent que le terrain oxfordien est antérieur à l'arrivée du minerai.

Nous allons maintenant passer en revue l'exposition du fer oligiste. Nous avons déjà signalé l'association du fer oligiste avec la magnétite à Diélette, dans les Pyrénées-Orientales et l'Ariége.

Dans le département de l'Ariége, dont beaucoup de minerais figurent à l'Exposition, les hématites rouges et brunes de Rancié et Vic-Dessos (Lias), avec enduit d'oxyde de manganèse, sont le centre d'une exploitation régie par l'État, qui occupe 400 ouvriers, et produit annuellement 20,000 tonnes d'un minerai immédiatement propre à la fusion, rendant 45 à 50 p. 100 de fonte.

Le fer oligiste d'Arnave, dans le micaschiste, se présente en petits filons irréguliers ; il prend une structure micacée. Le gite de Lassur (silurien) donne un minerai grenu, compacte ; mais les filons sont pauvres et irréguliers. Le filon d'Albiés est considérable, mais d'une exploitation difficile à cause de la dureté du minerai et de sa gangue quartzeuse ; les gisements de Le Sourd (Celles) et de la Bastide de Sérou sont assez importants pour mériter d'être exploités.

Dans l'Est de la France on connaît quelques gîtes de fer oligiste, dont des échantillons ont été exposés simultanément par des compagnies métallurgiques et le corps des ingénieurs des mines ; l'un des plus importants est celui de Framont. Le minerai de fer de Framont n'est plus exploité en ce moment ; il rendait au haut-fourneau de 40 à 42 pour 100 ; l'extraction s'élevait de 3,000 à 4,000 tonnes par an.

Les minerais de fer de Framont forment des filons puissants qui traversent le granite et les schistes primaires entre les vallées de la Brüsche et de la Plame, dans le voisinage d'éruptions porphyriques. Leur gangue consiste principalement en barytine, dolomie, quartz, divers silicates ; ils contiennent, distribués d'une manière irrégulière, l'hémitite fibreuse en rognons, des pyrites, du cuivre gris et de la philippsite.

Le gîte de Framont, d'une exploitation fort ancienne, fournissait autrefois un minerai très-riche, mais la présence du cuivre et du soufre a obligé les exploitants à suspendre l'extraction et à éteindre le haut-fourneau qu'il alimentait. Les parties du filon, riches en pyrites, peuvent être exploitées pour en extraire le sulfure de fer destiné à la fabrication de l'acide sulfurique.

A Lampertsloch on exploite un minerai consistant dans un mélange de fer hydroxydé et de peroxyde rouge anhydre ; le gisement, exploité à ciel ouvert, est recouvert par des sables diluviens. Le minerai rend en moyenne de 32 à 38 pour 100 de fonte ; il est expédié aux forges de la Moselle (Niederbronn, Jaegerthal, Zinswiller, Monterhausen), situées à peu de distance de la minière.

Dans le département de la Haute-Saône, commune de Servance, au lieu dit la Grève, se trouve un filon de fer oligiste qui rend jusqu'à 70 pour 100 à la fusion ; mais sa gangue, composée de quartz et de barytine, en rend l'exploitation peu fructueuse.

Les minerais de fer de Thoste et Beauregard (arrondissement de Semur) sont représentés au Champ de Mars par plusieurs échantillons.

Le minerai de Thoste forme, dans le lias inférieur, une couche d'environ un mètre d'épaisseur ; le fer s'y trouve en partie à l'état de peroxyde hydraté, et en partie à l'état d'oligiste compacte, avec paillettes de fer spéculaire. Dans le mur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et le toit de la couche de minerai on trouve de nombreuses veines de quartz, de barytine, de fluorine, de galène, etc.; le test des fossiles est quelquefois ferrugineux ou remplacé par ces substances.

Le gîte de Beauregard est analogue à celui de Thoste; il est enclavé dans l'infralias. Les fossiles sont transformés en fer oligiste; le fer y est en partie à l'état de péroxyde hydraté et d'oligiste, quelquefois mêlé de paillettes de fer spéculaire. Les unios (*unio concinna*), et les limes (*lima gigantea* et *lima hermani*), etc., ont le test remplacé par de l'oligiste cristallisé. Ces deux gîtes sont évidemment une seule et même couche; le minerai exploité par galeries, donne de 28 à 30 p. 100 de fonte. L'analyse de la mine rouge de Thoste et Beauregard a donné :

	I. Thoste.	II. Thoste.	III. Beauregard.
Peroxyde de fer.....	76.60	61.10	31.55
Silice.....	12.50	8.60	3.75
Alumine.....	5.50	19.55	4.70
Chaux.....	»	3.75	28.75
Eau.....	4.60	5.81	7.41
Acide phosphorique.....	»	»	0.47
Acide carbonique.....	»	2.94	22.59
	99.20	101.75	99.22

La Compagnie anonyme des forges d'Ancy-le-Franc et Maisonneuve a exposé des échantillons de minerai de Thoste et Beauregard ainsi qu'un plan en relief de Thoste; on y voit distinctement la position de la couche métallifère dans le lias inférieur. Ce plan permet de relever la coupe suivante, en allant de la partie la plus inférieure à la surface : 1° granite; 2° trias; 3° grès infra-liasiques; 4° minerai de Thoste; 5° calcaire lumachelle silicifié; 6° calcaire à gryphées; 7° alluvions et terre végétale.

La Société anonyme des fonderies et forges de Terre-Noire, la Voulte et Bességes a exposé des échantillons des différents minerais de fer qu'elle traite dans ses hauts-fourneaux. Les minerais de fer de la Voulte figurent dans cette exhibition; ils occupent aussi une place dans la vitrine du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Le minerai de fer de la Voulte est formé de quatre espèces différentes, savoir: 1° du fer oxydé rouge feuilleté; 2° du fer carbonaté; 3° du fer agathisé ou silico-aluminate de fer; 4° le minerai oolithique, l'oxyde rouge et le carbonate forment la base des exploitations.

Le minerai de la Voulte est placé dans l'oxfordien inférieur; l'assise métallifère plonge au S.-S.-E. sous un angle de 25° : sa direction générale est N. 80°; E à S. 80°; O. On y distingue trois couches différant par la nature et la richesse de leur minerai et séparées les unes des autres par des intervalles variables de 1 à 8 mètres. La couche moyenne est la plus importante; sa puissance maximum est de 5 à 6 mètres, dont 3 mètres environ de minerai rouge; en profondeur elle se réduit jusqu'à 2 mètres et 1m.40, en s'appauvrissant. Les couches supérieure et inférieure se composent principalement de minerai pauvre. Ces minerais présentent la composition moyenne suivante :

	Carbonate. (Sidérose lithoïde.)	Minerai rouge. (Hématite rouge.)	Minerai agathisé. (Silico-aluminate.)
Oxyde de fer.....	38.50	70.15	80.79
Silice.....	25.45	14.29	8.75
Alumine.....	10.52	6.60	6.36
Chaux.....	10.14	2.30	3.75
Magnésie.....	0.99	»	traces.
Eau et acide carbonique..	13.83	6.40	3.23
	99.43	99.74	100.88

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le minerai de la Voulte n'est généralement employé seul que pour la fabrication des fontes grises destinées au moulage. Mélangé avec le minerai de Privas, il donne des tôles supérieures; avec le minerai de Mokta-el-Hadid, il fournit des fontes, qui, traitées par le procédé Bessemer ou au four à puddler, donnent des fers fins aciéreux. Ce minerai rend au haut-fourneau 45 p. 100 en fer. En 1865, l'extraction de la Voulte s'est élevée à 58,269 tonnes.

Le gisement de Privas est formé par un oxyde de fer anhydre feuilleté, contenant des bancs discontinus de fer agathisé; il est exploité par la Compagnie des fonderies et forges de l'Horme (Loire) et par la Société anonyme de Terre-Noire, la Voulte et Bességes. L'extraction de l'année 1865, faite sur trois concessions, a donné 194,062 tonnes de minerai très-propre à la fabrication des rails : il donne un fer nerveux, cassant à chaud.

La Compagnie des hauts-fourneaux de la Solenzora (Corse) traite des minerais de fer d'une quantité supérieure; nous avons remarqué des échantillons de fer oligiste de l'île d'Elbe (Calamita, Rio, Rio-Albano), d'oligiste et des hématites d'Italie (San-Vicenzo et la Spezzia), de carbonate brun d'Espagne (Garrucha).

Les hauts-fourneaux de la Compagnie Jacquinot, placés dans la commune de Sari-di-Porto-Vecchio (arrondissement de Sartène), se trouvent à la fois à proximité des centres d'extraction des meilleurs minerais de fer et au milieu d'un pays dont la richesse forestière est bien connue.

Aussi cette Compagnie, grâce à ses heureuses circonstances, produit au charbon de bois des fontes blanches, lamelleuses, très-tenaces, qui se rapprochent des aciers.

Le département du Pas-de-Calais a fourni, à l'Exposition, quelques échantillons d'un minerai de fer, formé en partie de peroxyde anhydre et de peroxyde hydraté.

Les départements du Bas-Rhin, des Ardennes, de Saône-et-Loire, de l'Isère, des Basses-Pyrénées y figurent aussi par quelques échantillons de fer peroxydé anhydre plus ou moins pur.

3° *Fer peroxydé hydraté ou limonite.*— La limonite est l'espèce la plus répandue parmi tous les minerais de fer; elle est généralement brune ou jaunâtre, et sa poussière est jaune de rouille; elle contient de 57 à 59 p. 100 de fer. Ses principales variétés sont :

1° L'hématite brune ou noire, en masses fibreuses ou concrétionnées, contenant de 14 à 15 p. 100 d'eau et 82 p. 100 de peroxyde de fer anhydre; elle renferme très-souvent de l'oxyde de manganèse intimement mélangé avec l'oxyde de fer, du quartz et de l'argile, plus rarement du calcaire ou de la dolomie et très-rarement de la barytine; elle ne renferme presque jamais du soufre, de phosphore, de l'arsenic.

L'hématite constitue un excellent minerai de fer; les variétés manganésifères donnent facilement des fontes blanches à grandes lamelles, contenant de 3 à 4 p. 100 de manganèse, et possédant à un haut degré la tendance aciéreuse.

Cette variété se trouve dans quelques-uns de nos départements; mais les hématites les plus estimées sont celles des Pyrénées, du Gard, des Alpes; la collection formée par les soins des ingénieurs des mines renferme des hématites de la Moselle, de la Nièvre, de Saône-et-Loire, du Gard, de l'Aveyron, du Tarn (hématite concrétionné, hématite manganésifère), de l'Aude (la Caunette), des Pyrénées-Orientales (hématites manganésifères de Fillols), des Basses-Pyrénées, des Landes, de l'Ariège (belles hématites de Rancié), du Lot-et-Garonne, de la Dordogne. Les hématites de Dax et de Rancié, analysées par M. Rivot, ont donné :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	Dax (Landes).		Rancié (Ariége).	
	I.	II.	III.	IV.
Peroxyde de fer.....	70.75	74.00	79.00	75.00
Oxyde de manganèse...	1.50	4.50	6.50	6.00
Argile.....	14.50	11.50	2.50	»
Quartz.....	»	»	»	11.00
Eau.....	13.25	10.00	12.00	8.00
	100.00	10.000	100.00	100.00

2° Les minerais compactes ou hématites en roches compactes ont une texture compacte, une cassure irrégulière; ils sont d'un brun moins foncé que les hématites concrétionnées; ils contiennent une moindre proportion d'oxyde de manganèse. Leurs gangues sont ordinairement le calcaire, la dolomie, le quartz, l'argile, l'alumine hydratée, la barytine; ils ne contiennent presque jamais de soufre, de phosphore, d'arsenic; ils ne sont que rarement mélangés de silicates ferreux. Les minerais compactes sont généralement très-estimés, car ils donnent des fontes et des fers de bonne qualité. La collection des minerais de France en renferme provenant des départements de la Moselle, de la Meurthe, des Ardennes, de Servance, de l'Aveyron, de l'Aude, des Pyrénées, de l'Orne, de l'Eure. L'hématite compacte est exploitée dans le Gard, l'Ardèche, l'Ariége, la Moselle, etc., en Espagne, en Algérie, etc.

L'hématite brune existe en amas de remplissage ou en filons dans les terrains primaires et secondaires, ou au voisinage du granite ou des terrains sédimentaires. Elle paraît avoir été déposée par des eaux minérales en même temps que des oligistes micacés, de la sidérose et de l'oxyde de manganèse. C'est ce mode de gisement et de formation que nous présentent les gîtes des Alpes, du Dauphiné, de Rancié et du pied du Canigou dans les Pyrénées-Orientales, d'Excideuil dans la Dordogne, où le minerai est intercalé dans le calcaire jurassique.

3° Les minerais terreux et cloisonnés proviennent de l'altération de sulfures métalliques; ils forment le chapeau de fer des filons; ils se trouvent en masses terreuses à la partie supérieure des filons (minerais terreux) ou en boules (œtites) et rognons isolés dans les divers terrains (minerai géodique ou cloisonné). Ces minerais, d'une richesse médiocre, sont souvent impurs; ils contiennent fréquemment du quartz, des silicates, de l'argile, du calcaire, de la dolomie, de la barytine, de la sélénite, des sulfures non altérés, principalement de la galène et de la pyrite, des arséniates, des phosphates, etc.

4° Le minerai oolithique se présente en très-petits grains, tantôt d'un brun foncé, tantôt rougeâtre, quelquefois même d'un bleu terne et sale, empâtés dans une gangue calcaire ou marneuse, presque toujours elle-même assez riche en peroxyde de fer hydraté. Il est presque toujours mélangé d'une manière intime avec l'alumine hydraté, la silice, le calcaire, l'argile calcaire, le phosphate ferreux ou aluminique.

Ces minerais fournissent un fer de mauvaise qualité; aussi les usines qui les utilisent les mélangent avec des minerais de qualité supérieure; leur rendement moyen est de 26 à 34 p. 100 en fer; quelquefois ils sont traités directement dans les hauts-fourneaux : la fonte qu'ils donnent est généralement cassante et contient une proportion notable de silicium et de phosphore.

Le fer oolithique forme des couches régulièrement intercalées au milieu des terrains jurassiques, ordinairement dans le lias supérieur ou à la base de l'oolithe inférieur. Les couches de fer oolithique, avec fossiles transformés en oxyde de fer hydraté, de la Verpillière ou de Saint-Quintin (Isère) et de Villebois (Ain), sont dans le lias supérieur; celles de Mondelazac (Aveyron) dans l'oo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lithe inférieur ; de Châtillon (Côte-d'Or), d'Ancy-le-Franc (Yonne), d'Andelot (Jura), dans l'oolithe moyen.

Les départements qui ont fourni des échantillons de fer oolithique, à l'Exposition, sont :

La Moselle : Minerai de fer oolithique brun d'Hyange; vert d'Hyange; jaune (de Mayenne, Varraines); jaune rougeâtre (Mont-Saint-Martin); brun compacte et gris (Mont-Saint-Martin); minerai de fer siliceux en poudre, près Longwy, minerai de fer d'Aumetz.

La Meuse : Minerai de fer oolithique en plaquettes et minerai géodique.

La Marne : Minerai de fer hydroxydé oolithique.

La Côte-d'Or : Minerai de fer oolithique d'Etrochey, Montiliot, Cérisien.

La Haute-Marne : Nombreuses variétés de fer oolithique.

Le Doubs : Minerai de fer oolithique (Deluz-Souvance).

La Nièvre : Minerai oolithique.

Saône-et-Loire : Minerai oolithique de Mazenay.

Lot-et-Garonne : Minerai oolithique cloisonné.

Voici l'analyse de quelques-uns de ces minerais oolithiques :

	D'Ars-sur-Moselle. I.	De Hayanges (Moselle). II.	D'Eurville (Haute-Marne). III.	De Boulogne-s-Mer. IV.	V.
Peroxyde de fer....	63.40	65.00	60.20	35.20	54.00
Alumine.....	1.10	0.60	5.20	0.60	1.10
Chaux.....	3.60	5.30	5.10	»	»
Silice.....	3.00	2.20	10.50	2.50	3 50
Sable et argile.....	13.30	9.00	2.00	52.10	28.30
Acide phosphorique.	0.55	traces.	0.30	traces.	0.10
Eau, acide carbonique.....	14.65	17.35	16.40	9.20	12.50
	99.60	99.54	99.50	99.60	99.80 (Rivot).

5° Le minerai de fer pisolithique ou minerai en grains ou minerai d'alluvion consiste en protoxyde de fer hydraté sous la forme de grains sphériques, ellipsoïdaux, ou même de formes irrégulières, engagés dans une pâte argileuse ou dans des marnes ferrugineuses; leurs dimensions sont très-variables : les plus petits ont la grosseur d'un poids ou de grains de millet. Le peroxyde de fer est mélangé avec du quartz, de l'argile, des marnes; rarement le minerai renferme du phosphore, de l'arsenic et du soufre; il donne des fontes assez pures, mais les fontes et les fers qui en proviennent n'ont pas la propension aciéreuse, car ces minerais ne sont pas manganésifères, excepté pourtant ceux de la Haute-Saône.

Le minerai en grains forme la principale richesse sidérurgique de la France; c'est lui qui alimente les usines de la Normandie, du Berry, de la Bourgogne, de la Franche-Comté, et en grande partie celles de l'Allier, de la Loire et du Creusot.

La moyenne de leur rendement est de 40 p. 100 en fonte et 33 p. 100 en fer; mais quelquefois ce rendement va jusqu'à 65 p. 100 en fer.

Les grains sont séparés, par lavage, de la gangue argileuse ou marneuse, et sont seuls traités comme minerais de fer; une marne bien délayable qui contient de 12 à 15 p. 100 de ces grains est exploitable. Les minerais les plus riches contiennent de 65 à 75 p. 100 d'hydroxyde de fer; la moyenne est de 55 à 60 et pour les plus pauvres de 45 p. 100. On n'exploite pas, avec avantage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ceux qui sont au-dessous de 45 p. 100 d'oxyde de fer, qui ne rendent pas 30 p. 100 de fonte.

Voici, d'après M. Rivot, la composition de quelques minerais en grains :

	Dun-le-Roy.	Schwabweiler.	Cosne. (Nièvre).	Brioude. (Haute-Loire).	Vougeot. (Côte-d'Or).	La Chapelle. (Nièvre).
Peroxyde de fer.....	55.00	31.50	48.50	35.00	54.00	57.50
Alumine.....	3.25	2.00	3.25	2.00	3.25	2.60
Silice.....	1.50	0.25	1.50	1.00	1.10	1.40
Chaux.....	»	»	»	»	4.00	1.10
Oxyde de manganèse..	»	2.90	»	»	»	»
Sable et argile.....	23.60	53.60	35.00	51.60	23.60	18.90
Eau, acide carbonique.	16.50	9.30	11.20	9.70	13.50	17.70
	99.35	99.55	99.45	99.30	99.45	99.20

Le minerai pisolithique forme des dépôts superficiels très-étendus en surface, mais généralement de faible épaisseur : il remplit des fentes et des cavités irrégulières creusées dans les calcaires jurassiques. Ce minerai est répandu dans les départements de la Haute-Saône, de la Haute-Marne, du Haut-Rhin, de la Moselle, de la Nièvre, de la Côte-d'Or, etc.

Il appartient à l'époque tertiaire ou même à une époque plus récente. Les terrains tertiaires qui renferment les lentilles en amas irréguliers de minerais d'alluvion forment presque toujours des plateaux élevés, qui recouvrent les calcaires jurassiques et les dépôts de la craie qui forment ces plateaux. Par suite de cette disposition, les minerais sont déposés dans les anfractuosités de la surface qui porte le sol tertiaire lors de la formation de celui-ci.

La belle collection minéralogique du ministère du commerce, de l'agriculture et des travaux publics, formée par les soins du corps impérial des mines, contient un nombre considérable d'échantillons de minerai de fer en grains.

Cette collection, tout incomplète qu'elle soit, est cependant très-précieuse ; elle est l'inventaire de notre richesse sidérurgique; elle montre les ressources de la France en minerais métallifères, principalement en minerais de fer et en combustibles, les deux bases de l'importance industrielle d'un pays.

Avec les échantillons a été exposée une carte minérale de la France, dressée par MM. Descos et Martelet, ingénieurs des mines, indiquant les positions géographiques des divers gisements de minerais de fer, des gîtes métallifères autres que le fer et les bassins houillers.

Pour l'industrie de fer, les auteurs de la carte minérale ont cherché à représenter les usines en groupes d'usines, à faire apprécier les conditions économiques de leur exploitation en plaçant les principaux massifs forestiers d'où elles tirent tout ou partie de leurs approvisionnements en combustibles, et les voies qui servent au transport des minerais et à l'expédition des produits.

Nous relevons ici les indications fournies par la collection des minerais de fer de la France, en les groupant par départements et non par espèces.

PAS-DE-CALAIS. Minerai de fer hydroxydé; minerais du Boulonnais; hydroxydes en grains, en fragments et en géodes, avec une gangue quartzeuse, ils contiennent en moyenne 49 p. 100 de peroxyde de fer.

MOSELLE. Le département de la Moselle fournit plusieurs variétés de minerai d'alluvion et de minerai oolithique. Le minerai de fer d'alluvion forme des amas dans des poches irrégulières, creusées dans la partie inférieure de l'oolithe inférieur. Le remplissage de ces poches remonte à l'époque tertiaire. Presque partout le minerai est superficiel; on l'extrait à ciel ouvert, on le soumet à un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lavage pour le séparer des matières argileuses et sableuses qui le contiennent ; il donne généralement une partie de minerai lavé pour deux à trois parties de minerai brut.

Le minerai de la Moselle donne au haut-fourneau 38 p. 100 de fonte ; sa composition moyenne est, pour un échantillon d'Audun-le-Tiche :

Peroxyde de fer.....	55.40
Alumine.....	3.80
Argile.....	31.60
Eau.....	9.20
	100.00

En 1865, la production a été de 38,422 tonnes représentant une valeur, en minerai lavé, de 355,692 fr. ; la valeur moyenne de la tonne, qui était de 11 fr. en 1861 et 1863, est descendue à 9f.26 en 1864 et 1865. Plus de 300 ouvriers sont employés à l'exploitation des minerais en grains de la Moselle, qui sont en partie consommés sur place, en partie expédiés aux usines métallurgiques de la Meuse et des Ardennes; une petite portion est expédiée en Prusse, aux forges de Burbach et de la Quinte. Le département de la Moselle est surtout riche en minerai de fer oolithique, qui occupe la partie supérieure du lias. Ce grand dépôt sidéritique s'étend dans la Moselle et dans la Meurthe, sous le grand plateau jurassique qui forme la partie occidentale de ces deux départements. Les affleurements du minerai se montrent dans les vallées et sur les flancs du plateau jurassique, à partir de Longwy jusqu'au delà de Pont-Saint-Vincent, le long de la frontière française au nord, ainsi que dans les petites vallées de la Chiers, la Moulaine, l'Alzette, la Feusch, l'Orux. Sur le versant gauche de la Moselle les affleurements apparaissent jusqu'à Liverdun ; enfin ils se montrent sur les deux versants de la vallée de la Meurthe et de la Haute-Moselle.

Le minerai de fer plonge aux environs de Nancy, de l'est à l'ouest, tandis que le long du bord septentrional du plateau jurassique, il plonge vers le sud-sud-ouest ; la pente ne dépasse pas généralement trois centimètres par mètre. Le minerai oolithique est enclavé dans le terrain jurassique ; il se présente en couches dont le nombre et la puissance sont variables ; il est placé entre des grès et des marnes micacées qui forment les parties supérieures du lias. Les couches de minerai, de 10 à 30 mètres d'épaisseur, sont séparées par des bancs marneux, calcaires ou arénacés ; ce qui donne des minerais tantôt siliceux, tantôt marneux ou calcaires, exploités à ciel ouvert aux affleurements et par travaux souterrains sous les plateaux.

Le minerai oolithique rend de 28 à 40 p. 100 de fer ; 18 concessions sont comprises dans le département de la Moselle, et 14 dans celui de la Meurthe, embrassant une superficie totale de 14,614 hectares.

En 1865, la production, dans le département de la Moselle, a été de 604,778 tonnes, représentant une valeur marchande de 2,005,362 fr., par l'emploi de 1573 ouvriers. Pour le département de la Meurthe, la production en 1865 s'élève à 214,656 tonnes de minerai extrait par un travail de 537 ouvriers, représentant une valeur de 817,873 fr.

La plus grande partie de ces minerais a été consommée pour l'alimentation des usines appartenant aux concessionnaires et situées en général à proximité des mines. Nous avons fait connaître, en parlant du minerai oolithique, la composition des minerais de la Moselle.

BAS-RHIN. On exploite dans le département du Bas-Rhin trois variétés de minerai de fer en grains : 1° minerai de fer en grains brun ; 2° minerai plaquette brune noire plate ou blaettelerz) ; 3° minerai de fer rouge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° Le minerai de fer en grains brun se trouve dans des amas d'argile remplissant les poches ou cavités de l'oolithe, du lias et même du muschelkalk; il forme des couches dont l'épaisseur moyenne est de 1m.50; il rend par lavage la moitié de son poids de minerai propre à fondre, dont la teneur varie de 37 à 40 p. 100; il contient 1 à 2 p. 100 de manganèse, autant d'acide phosphorique et de 3 à 5 millièmes de soufre. Ce minerai est traité aux forges de Niederbronn, de Mertzwiller et de Jaegerthal; la production, en 1865, a été de 3,481 tonnes de minerai brut et 1,631 tonnes de minerai lavé, représentant une valeur de 18,758 fr. En 1861, la production était de 10,461 tonnes; depuis lors elle s'est successivement abaissée.

2° Le minerai en plaquette se trouve dans les alluvions anciennes qui recouvrent le lias; il provient de la désagrégration des marnes liasiques; il est exploité à ciel ouvert; par lavage, il rend un tiers de son poids de minerai propre à être fondu, sa teneur est de 30 à 40 p. 100; il renferme de 1 à 1 millième et demi de soufre et de un demi à 2 millièmes d'acide phosphorique; il est très-propre à la fabrication des fontes de moulage et d'ornements : il est consommé à l'usine de Linswiller.

En 1865, la production a été de 8,014 tonnes de minerai extrait ayant donné 608 tonnes de minerai lavé.

MEURTHE. Les minerais du département de la Meurthe sont de même qualité que ceux de la Moselle, car ils proviennent des mêmes dépôts : minerai de fer oxydé brun jaunâtre et jaune de Marbache (Nancy), de Croisette, de Loxon, Chavigny, Geneviève.

La Compagnie des hauts fourneaux et forges d'Ars (Moselle) a exposé deux blocs pyramidaux de minerai de fer oolithique jaune de Champigneulle (Meurthe).

ARDENNES. Les Ardennes produisent plusieurs minerais de fer rouge et brun rougeâtre exploités sur divers points du département.

1° Minerai de fer oxydé hydraté, sulfureux, de médiocre qualité, en amas dans les communes de Revin, Naux, Gespunsart, Fleigneux.

2° Minerai de fer de Rancennes, en amas dans le terrain anthraxifère, donnant de 25 à 30 p. 100 de fonte.

3° Minerai de fer oxydé hydraté, phospho-manganésifère, propre à la fabrication des fontes de moulage; il rend 38 à 42 p. 100 au haut fourneau; il est exploité à Villers-Maisoncelle, Poix, Montigny, Barbaise, Terron, etc.; il est enclavé dans l'étage inférieur de l'oxfordien.

4° Minerai de fer oolithique jaunâtre ou rougeâtre, exploité à Nouart, Mazerny; il est formé par de petits grains oolithiques jaunâtres ou rougeâtres; il se trouve dans la partie supérieure de l'oxfordien, il rend de 30 à 40 p. 100 de fonte.

5° Minerai de fer oolithique jaunâtre; c'est un oxyde de fer hydraté en grains disséminés dans une masse argilo-sableuse; il rend en moyenne 42 p. 100; il est exploité à Grandpré, Champigneulle, Landres, etc., et se trouve dans le terrain crétacé.

6° Le minerai de fer en grains disséminés dans une gangue argileuse se trouve à Grugères, Signy-le-Petit et La Ferté, dans le dilivium qui recouvre le terrain jurassique ou le terrain ardoisier.

MEUSE. Les minerais de fer de la Meuse, oolithiques, géodiques, carbonatés, sont phospho-manganésifères et par conséquent se prêtent à la fabrication des fontes de moulage; ils rendent en moyenne de 38 à 44 p. 100 de fonte; ils sont exploités à Thonne-le-Thil (calcaire ferrugineux du lias), Maugienne (oxfordien inférieur), à Halles (oxfordien supérieur). Le minerai géodique et carbonaté, situé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à la base du néocomien, est exploité à Hévilliers, Ancerville, Villers-le-Sec, Biancourt, Treveray, etc.

Le minerai en grains est exploité dans les communes de Baolon, Quincy, Chauffour, etc.

MARNE. Minerai de fer hydroxydé oolithique. Ce minerai forme une couche de 0m.30 à 0m.50 de puissance enclavée dans le terrain néocomien ; il est de bonne qualité et rend de 34 à 35 p. 100 de fonte. On l'exploite dans la commune de Cheminon, au moyen de petits puits de 5 à 10 mètres de profondeur. Il alimente en partie l'usine métallurgique de Sermaize (Marne) et quelques forges voisines de la Meuse ; chargé en wagon, à la gare de Pargny, il revient à 7f.50 la tonne ; pris à la mine, il ne coûte que 3f.20 la tonne.

AUBE. Minerai de fer oolithique. C'est un minerai formé par du peroxyde de fer en grains très-fins, mélangé d'oxyde de fer terreux, brun rougeâtre ; il forme une couche de 0m.50 de puissance dans le néocomien supérieur ; il est exploité à Vendeuvre, Champ-sur-Barse, Villy-en-Trode. Sur quelques points, la couche ferrifère renferme une certaine quantité de minerai en cailloux.

Ce minerai alimente les hauts-fourneaux de l'Aube ; il est expédié aussi dans les départements de la Côte-d'Or et de la Haute-Marne.

YONNE. Minerai en grains. On trouve dans l'oxfordien du département de l'Yonne deux variétés de minerai en grains : 1° la première, à gros grains disséminés dans les argiles, exploitée à Sennevoy-le-Haut, Gland et Stigny ; 2° la deuxième, à grains fins, dans les argiles oxfordiennes de Sennevoy-le-Bas.

HAUTE-SAÔNE. Le département de la Haute-Saône nous offre trois variétés de minerai de fer, savoir :

1° Les minerais de fer en grains, en amas disséminés dans le terrain d'alluvion sont les plus estimés ; ils sont soumis à un lavage et composent les lits de fusion de la plupart des hauts-fourneaux du département. Ces minerais, très-abondants dans les arrondissements de Gray et de Vesoul, se rencontrent principalement dans les localités suivantes : Velesmes, Cugney, Résié-Saint-Martin, Valay, Vadans, Montseugny, Bouhans, Autrey, Montureux, Delain, Renaucourt, Vellexon, Noidans-le-Ferroux, Raze, Neuvelle-la-Charité, Lieffrans, Ventoux. Ce minerai en grains est manganésifère, il rend en moyenne de 33 à 45 p. 100 de fonte.

2° Le minerai oolithique forme une couche placée dans le lias, exploitée à Calmoutier et à Jussey ; il alimentait le haut-fourneau de Varigney et rendait 32 p. 100 à la fusion.

3° Le minerai de fer oligiste, qui rend jusqu'à 70 p. 100 à la fusion, a été exploité à la Grève.

HAUTE-MARNE. Dans le département de la Haute-Marne on exploite diverses variétés de minerais de fer, savoir :

1° Peroxyde de fer hydraté en grains, enclavé dans l'oxfordien, empâté dans une gangue argileuse ou argilo-calcaire ; il donne de 30 à 60 p. 100 de fonte ; au lavage, il rend de 14 à 15 p. 100 ; il est exploité à Marault, Latrecey ;

2° Minerai de fer géodique, se trouve dans le portlandien ou le néocomien ; sa gangue est argileuse ou argilo-calcaire ou siliceuse ; il rend en moyenne 42 p. 100 à la fusion ; il est exploité à Poissons, Chatonrupt, Morancourt, Nomécourt, Eurville ;

3° Minerai oolithique du terrain néocomien de Bettancourt, Vassy, Rochecourt, Saint-Dizier, Nancy-sur-Blaise ; rend, en moyenne, de 33 à 45 p. 100 de fonte ; sa gangue est silico-argileuse ou alumino-argileuse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CÔTE-D'OR. La Côte-d'Or fournit plusieurs variétés de minerais de fer ; les plus connus sont ceux fournis par les gisements de Thoste et Beauregard, dans l'arrondissement de Semur.

Les minerais alumino-calcaires d'Étrochey et de Montliot (arrondissement de Châtillon), enclavés dans l'oxfordien rendent en moyenne 36 p. 100 de fonte ; ils sont composés de :

	Étrochey.	Montliot.
Silice	5.40	8.80
Alumine	12.70	8.90
Peroxyde de fer	51.50	54.85
Chaux	10.45	7.50
Eaux et matières volatiles	19.95	19.95
	100.00	100.00

Le minerai de fer exploité à Prémorot et aux Cérisiers est en grains; il rend en fonte environ 31 p. 100 ; sa gangue est argilo-siliceuse ; ce minerai lavé a donné, d'après l'analyse faite au laboratoire de chimie de la Côte-d'Or :

	Prémorot.	Cérisiers.
Quartz et argile	20.10	24.75
Peroxyde de fer	34.80	51.00
Chaux	20.50	6.50
Magnésie	traces.	»
Eau et acide carbonique	25.00	17.10
	100.40	99.35

SAÔNE-ET-LOIRE. Dans le département de Saône-et-Loire on exploite trois variétés de minerai de fer, savoir :

1° Minerai de fer en grains, dans les argiles tertiaires ; exploité à Génélard, et rendant à la fusion 32 p. 100 de fonte tendre :

2° Minerai oolithique en couche de 0m.80 à 2 mètres à la base du lias ; il rend au haut-fourneau 29 p. 100 ; il est exploité à Mazenay ;

3° Le minerai de Chizeuil, hématite rouge, se trouve en filons dans le gneiss ; son rendement est de 41 p. 100 en fonte. Ces divers minerais, qui sont consommés aux usines du Creusot, présentent la composition suivante :

	Génélard-Mazenay.	Chizeuil.
Silice	11.32	22.14
Alumine	4.26	8.11
Chaux	19.75	»
Magnésie	0.80	»
Peroxyde de fer	41.98	58.31
Oxyde de manganèse	0.34	»
Perte au feu	21.55	»
Sulfate de baryte	»	1.01
Eau combinée	»	10.43
	100.00	100.00

AIN. Le minerai de fer oolithique de Villebois forme des couches dans le lias supérieur ; ce minerai, d'une qualité inférieure, rend au haut-fourneau 20 p. 100 de fonte ; il est mélangé avec des minerais de fer de bonne qualité et traité aux usines de Givors.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DOUBS. Dans le département du Doubs on exploite plusieurs variétés de minerai de fer, qui alimentent les hauts-fourneaux d'Audincourt et fournissent un contingent d'approvisionnement aux usines du Rhône et de la Loire.

Les minerais oolithiques de Deluz et de Souvance, situés à la base de l'oolithe, forment des couches qui atteignent jusqu'à 4 mètres de puissance; leur rendement moyen est de 28 à 33 p. 100.

Les minerais en grains d'Exincourt et de Chamerol rendent au haut-fourneau de 20 à 45 p. 100 de fonte.

JURA. Le Jura nous présente aussi des minerais de fer en grains comme à Mercey-le-Grand, et des minerais oolithiques dans le terrain jurassique, à la base de l'oolithe : tels sont les gisements de Gendrey, de Malange, d'Ougney. Ces différents minerais sont consommés aux forges de Dôle, de Rans et de Fraisans; ils ont pour composition :

	I Deluz.	II Mercey-le-Grand.	III Gendrey.	IV Malange.	V Ougney.
Silicate d'alumine....	17.00	19.95	3.20	22.10	19.80
Alumine soluble.....	1.50	10.55	1.90	0.30	5.40
Peroxyde de fer.....	39.90	55.55	41.10	47.70	39.00
Chaux.....	20.10	3.75	0.60	13.50	17.50
Magnésie.....	»	0.12	»	»	0.50
Peroxyde de manganèse.	»	0.22	»	»	»
Acide phosphorique...	»	»	»	»	traces.
Eau.....	»	»	15.00	16.40	»
Perte au feu.....	5.80	9.86	9.40	»	17.80
Acide carbonique....	15.70	»	»	»	»
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

CHER. L'exposition du département du Cher nous offre de nombreux échantillons de minerais de fer en grains, extraits des terrains crétacé et tertiaire. Les minerais de fer de Saint-Éloi, de Sury-en-Vaux et de Mehun, connus sous le nom de chaudes, se trouvent dans le terrain tertiaire; ils rendent en moyenne 38 p. 100; leur gangue habituelle est l'argile ou un mélange d'argile et de sable; ils renferment généralement du phosphore et du sulfate de chaux; ils sont exploités par la Compagnie des forges de Mazière et de Commentry.

Les minerais des terrains tertiaires ou mines froides sont très-alumineux; ils rendent de 38 à 48 p. 100 de fonte. Les principaux gisements sont à :

1° Chanteloup, où se trouvent la mine rouge et la mine blonde qui donnent de bonnes fontes blanches;

2° Saint-Florent et Cormiers, qui produisent d'excellent minerai de fer en grains, en particulier la variété dite mine grise.

Les minerais de Chanteloup et de Saint-Florent entrent dans la composition des lits de fusion des hauts fourneaux du Creusot.

3° La Chapelle-Saint-Ursin et Bordes, enclavé dans le calcaire d'eau douce;

4° Dun-le-Roi, où le calcaire lacustre est pétri de grains de minerai.

Le minerai fourni par ces trois dernières exploitations alimente en partie les hauts-fourneaux de la Compagnie des forges de Commentry et Châtillon;

5° Aux Ruesses et Fondmoreau;

6° Val de l'Aubois;

7° Longuevilles;

8° Champ-Paichau;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

9° Mauregard ;
10° Grand-Champ ;
11° La Forêt, etc.

Les minerais de ces diverses localités se trouvent dans le tertiaire, formé de calcaire lacustre et d'argile; leur gangue ne contient jamais qu'une très-faible proportion de chaux et de magnésie; mais elle renferme de 5 à 15 p. 100 d'alumine et de 15 à 35 p. 100 de silice.

NIÈVRE. La Nièvre fournit des hématites et du minerai oolithique, exploités par la Compagnie du Creusot et par celle des forges de Châtillon et Commentry.

Les minerais de Champ-Robert donnent des fontes sulfureuses; les parties exploitées contiennent des rognons de pyrite et de barytine, ce qui ferait supposer qu'elles représentent la tête d'un filon de pyrite placé dans des roches métamorphiques.

Les minerais oolithiques de Gimouille et de Limon se trouvent à la base de l'oolithe inférieur; ils sont composés de :

Oxyde de fer		36 p. 100
Argile et sable	10 à	20 —
Carbonate calcique	30 à	40 —
Carbonate de magnésie	1 à	5 —
Acide phosphorique.	0 à	1 —

GARD. Le département du Gard nous offre plusieurs variétés de minerais de fer, savoir :

1° Minerai de fer houiller, en rognons et en couches dans les schistes houillers (voir *sidérose*) de Palmesalade, de Laffenadou, etc.;

2° Minerai de fer cloisonné, peroxyde de fer hydraté exploité à Travers, Bordezac, Saint Florent, et fondu à l'usine de Bességes. Ce minerai, situé à la partie inférieure du trias, forme deux couches; la couche supérieure est seule exploitée ; il donne à l'analyse la composition suivante :

	Travers.	Bordezac.	Saint-Florent.
Oxyde de fer.....	16.45	48.83	63.50
Silice.....	7.70	28.43	16.20
Alumine.....	5.55	6.88	6.80
Chaux.....	13.40	0.98	2.50
Oxyde de manganèse.....	traces.	traces.	»
Sulfate de baryte.....	traces.	3.61	0.40
Perte au feu.....	25.75	11.80	10.60
	98.85	100.53	100.00

Le minerai de Bordezac est très-siliceux et renferme un grand nombre de nodules de barytine; il est difficile à réduire et d'une qualité inférieure. Celui de Travers est calcaire et d'excellente qualité ; enfin, celui de Saint-Florent est alumineux et d'assez bonne qualité.

3° Minerai oolithique de Saint-Jullien de Valgalgues, de Trépeloup, etc., situé entre le lias et l'oolithe inférieur, qui forme des filons orientés N.-E.-S.-O.

A Trépeloup, à Saint-Paul-Lacoste le minerai forme des poches dans les dolomies infra-liasiques; il est calcaire, sulfureux et renferme fréquemment de la blende et de la calamine ; tandis que le minerai de Saint-Jullien est siliceux.

Ces minerais donnent des fontes sulfureuses, siliceuses, truitées ou blanches ; les fers qui en proviennent sont rouverains, difficiles à souder; mais d'une dureté et d'une résistance remarquables et très-propres à la fabrication des rails.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces minerais formaient autrefois l'élément principal des lits de fusion de l'usine de Tamaris ; aujourd'hui on mélange les minerais silicieux avec ceux qui sont calcaires et on y ajoute pour améliorer le fer du minerai oolithique des Avelas (Ardèche). Voici la composition de quelques-uns des minerais oolithiques du Gard :

	Saint-Jullien.	Vallat-Pellet.	Trépeloup.	Panissières. (grillé.)	Lacoste.
Silice.....	33.25	14.17	8.42	13.00	2.65
Alumine.....	1.50	2.61	2.28	1.60	3.05
Oxyde de fer.	52.00	65.10	60.40	80.00	69.42
Chaux.	0.95	4.35	9.82	2.20	8.00
Perte au feu..	10.50	11.95	17.67	2.00	17.85
Soufre.	1.42	»	0.67	0.14	»
	99.62	98.18	99.28	98.94	100.97

Les minerais oxfordiens de Pierremorte et de Ganges ne sont plus exploités.

ARDÈCHE. Le département de l'Ardèche renferme de riches gisements de minerais de fer; les plus importants, actuellement exploités, sont ceux :

1° De la Voulte; 2° de Privas; 3° de Saint-Priest ; 4° de Merzelet.

Le minerai de Privas est du peroxyde de fer anhydre feuilleté, avec des bancs de minerai agatisé; il est enclavé dans le lias ou dans l'oolithe, et affecte la forme d'une lentille dont la plus grande épaisseur est de 8mm.50. Les affleurements s'étendent sur une longueur de 5 kilomètres, depuis Privas jusqu'à Saint-Priest.

Le fer oolithique enclavé dans le lias est exploité à Saint-Priest, Saint-Paul-le-Jeune, Avelas.

Ces minerais présentent la composition moyenne suivante :

	Privas. Minerai feuilleté.	Privas. Minerai agatisé.	Avelas.
Oxyde de fer.....	64.50	68.60	31.90
Silice.....	14.80	18.20	12.00
Alumine.....	4.80	3.53	5.80
Chaux.....	6.20	4.22	24.20
Perte au feu.....	9.40	5.67	26.90
	99.70	100.22	100.80

HÉRAULT. Les minerais de fer du département de l'Hérault sont des hématites brunes et rouges, provenant des concessions de Notre-Dame-de-Maurian (commune de Saint-Gervais), de la vallée de Lamalou et de Frontignan. Ces gîtes ne sont pas exploités, quoique leur voisinage des voies ferrées rendit facile leur débouché vers les forges d'Alais et les hauts-fourneaux de la Loire ou du Rhône.

AVEYRON. Le département de l'Aveyron est riche en minerais de fer; on y exploite de la sidérose, des hématites rouges, des hématites brunes manganésifères et de fer oolithique.

Le minerai de fer oolithique de Mondalazac se trouve en couches de 2 à 4 mètres à la base de l'oolithe inférieur ; les grains de peroxyde de fer hydraté sont réunis par un ciment argilo-calcaire ; il rend de 27 à 33 p. 100 de fonte.

En 1862, il a été extrait 114,905 tonnes de minerai de Mandalazac et de Muret;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais en 1866, l'extraction est tombée à 59,600 tonnes; rendu aux usines de l'Aveyron qui le consomment, le minerai revient à 6 ou 7 fr. la tonne; sa composition est représentée par :

Peroxyde de fer	37.50
Silice	10.10
Alumine	11.40
Chaux	13.20
Magnésie	2.60
Perte au feu	24.60
	99.40

Au sommet du plateau de Lunel on trouve une couche d'hématite rouge quartzifère enclavée dans le lias inférieur, qui rend 40 p. 100 de fonte; ce minerai est traité aux usines du bassin d'Aubin, il est composé de :

Peroxyde de fer	55 à	60 p. 100
Silice	35 à	40 —
Alumine		2 —
Eau, matières volatiles		2 —

L'hématite brune manganésifère concrétionnée ou terreuse de Kaymar forme un filon qui traverse le schiste micacé. Ce filon, d'une épaisseur moyenne de 4 à 5 mètres, ne contient du minerai que dans une partie de son épaisseur; le reste est composé de quartz et de fluorine.

Le minerai de Kaymar rend en moyenne de 42 à 45 p. 100; il est composé de :

Peroxyde de fer	60
Oxyde de manganèse	10
Silice	12
Alumine	2
Fluorine et perte	6
Eau	10
	100

TARN. Le Tarn nous a offert quelques échantillons de minerais de fer de bonne qualité, savoir : les hématites rouges ou brunes concrétionnées d'Ambialet, l'hématite manganésifère de Prunié, la sidérose de Courris.

Ces minerais, qui rendent de 40 à 45 p. 100, proviennent de filons qui traversent le sol primordial; leur gangue est quartzeuse; ils contiennent fréquemment du spathfluor et de la barytine.

SAVOIE. La Savoie n'est représentée, dans l'industrie du fer, que par le minerai spathique de Saint-Georges d'Hurtières, des oligistes micacés, et par le peroxyde de fer hydraté de Cuvat. Ce dernier remplit des poches ou crevasses creusées dans le calcaire urgonien; il rend 30 p. 100 de fonte. On y voit des ocres blondes, jaunes et rouges.

ISÈRE. Le département de l'Isère possède de beaux gisements de minerai de fer, à Allevard, Vizille, La Verpillière, etc. Ceux d'Allevard et de Vizille sont en forme de filons de contact; ceux de La Verpillière en couches, dans le lias supérieur. Citons la notice publiée par les soins du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics : « Minerais en filons (groupe du S.-E.). Les filons de fer d'Allevard, d'Allemont, de Vizille, etc., ont tous pour roche encaissante les micaschistes relevés sur les deux flancs de la grande chaîne de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Belledonne. (Système des Alpes occidentales, dont la direction générale est Nord 26°, Est.) Quelquefois cependant ces filons se prolongent dans les grès houillers et triasiques qui recouvrent les micaschistes.

L'âge de la formation des filons peut être reportée à l'époque du trias.

Les filons sont extrêmement nombreux, mais généralement courts ou du moins interrompus par des failles. Leurs directions sont très-diverses; mais l'orientation dominante est celle de l'E, 30° S., c'est-à-dire la direction perpendiculaire à l'axe de la chaîne. Il est même remarquable que tous les filons observés dans le pays d'Allevard soient compris entre les directions heure 4 et heure 12 de la boussole (ces heures étant comptées à partir du nord vrai); on n'en connaît aucune dans le premier tiers du cadran.

La puissance des filons est également très-variable. Il est rare toutefois qu'elle dépasse 2 à 3 mètres. Le minerai est presque partout du fer spathique, intact à une certaine profondeur, mais transformé près de la surface par les agents atmosphériques et les eaux de filtration en hydroxyde ou mine douce. Quelques filons (les Tavernes) donnaient avec le fer spathique du fer oligiste micacé, très-pailleteux. La gangue habituelle est le quartz. La plupart des filons donnent, en outre, des minerais sulfurés divers, pyrites de fer, de cuivre, de cuivre gris, galène, etc.

Quelquefois ces sulfures sont devenus assez abondants pour rendre le filon inexploitable (comme à la Ravoire), malgré l'abondance et la beauté du fer spathique. Au point de vue purement minéralogique, les filons d'Allevard et de Vizille peuvent être considérés comme des filons métalliques à gangue de quartz et de fer carbonaté.

Les minerais d'Allevard et de Vizille ne subissent avant leur emploi d'autre traitement préparatoire qu'un grillage, précédé et suivi d'un triage. Ce grillage est nécessaire pour l'élimination des sulfures, qui se transforment en sulfates solubles. Les minerais sont exposés à la pluie pendant deux ou trois années, ou sont soumis, lorsque c'est possible, à un arrosage artificiel.

On distingue à Allevard deux variétés de minerais spathiques : 1° les rives à petites facettes lamelleuses, contenant relativement beaucoup de carbonate de manganèse et un peu de carbonate de magnésie; 2° les maillats, à grandes facettes nettement rhomboédriques, contenant moins de manganèse, mais souvent associés à beaucoup de carbonate de magnésie. Une variété intermédiaire lamelleuse, à grandes facettes, porte le nom de rive orgueilleux. Les beaux minerais rivés sont les plus estimés : d'abord à cause de leur teneur en manganèse, ensuite parce qu'ils ne décrépitent pas au feu comme les maillats et se grillent plus complétement.

Après le grillage, la teneur moyenne des minerais d'Allevard, tels qu'ils passent au haut-fourneau est de 42 p. 100 (rendement en fonte). Les fontes qui en résultent sont généralement à grandes lames, spécialement propres à la production de l'acier. Le seul combustible employé pour la réduction des minerais est le charbon de bois, provenant des montagnes de l'Isère et de la Drôme, et coûtant de 7 à 9 fr. le quintal métrique. Les minerais grillés, pris à la sortie des galeries, ont une valeur moyenne de 1f.80 à 2f.20 par quintal métrique. Ce transport jusqu'aux usines se fait à dos de mulet ou sur des traîneaux de montagne; il coûte 0f.60 à 1f.20, malgré la faible distance horizontale qui sépare les exploitations des usines. Le minerai rendu aux usines a une valeur de 2f.50 à 3 fr. Il ne saurait donc être expédié à de plus grandes distances.

La production annuelle des mines de fer d'Allevard est d'environ 6000 tonnes.

Quelques minerais spathiques de Vizille sont expédiés à Givors, sans grillage préalable. Le quintal métrique de minerai cru coûte 1f.20 de frais d'extraction,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et 1f.25 de frais de transport; soit 4f.25 à l'usine. C'est le maximum de sa valeur.

Minerais en couches (groupe N.-O.). Couche du lias supérieur. La couche de minerai de fer hydroxydé oolithique qui termine l'étage supérieur du lias existe dans le département de l'Isère, comme dans les départements voisins de l'Ain, du Jura et de l'Ardèche. Elle a été exploitée aux environs de la Verpillière, sur plusieurs points, et l'est encore aujourd'hui à Saint-Quentin.

La couche exploitée à Saint-Quentin se compose de deux bancs, l'un de 0m,45 de minerai rougeâtre, l'autre, appelé banc coquilleux, de couleur jaunâtre, d'une épaisseur de 0m,20 superposé au premier. Ce banc coquilleux est généralement trop pauvre et trop phosphoreux pour être utilisé; sa teneur moyenne n'est guère que de 15 p. 100. Le banc exploité donne du minerai d'une teneur moyenne de 25 p. 100. L'allure de la couche est régulière; elle incline d'environ 10° vers le S.-E. et n'éprouve guère de défaillances, si ce n'est par l'effet des failles assez nombreuses qui la relèvent ou la rabaissent. Le minerai ne subit d'autre préparation qu'un triage sur place. Il est expédié, par chemin de fer, aux hauts-fourneaux de Givors et associé, comme minerai calcaire à des minerais siliceux riches. Le prix d'extraction est de 7 fr. environ, et les frais de transport sont de 5 fr. par tonne; les minerais de même nature exploités dans l'Ain, le Jura et le Doubs arrivent aux usines du Rhône et de la Loire, par les voies navigables, à des conditions meilleures. La production annuelle de la Verpillière est d'environ 10.000 tonnes.

A 15 mètres environ au-dessous de la couche de minerai supraliasique il existe, dans le lias des environs de la Verpillière, un faisceau de couches ferrifères d'une épaisseur totale d'environ 6 mètres, alternant avec des bancs calcaires. L'une de ces couches, assez mince, donne du minerai riche dont la teneur s'élève jusqu'à 50 p. 100; mais la plupart ne fournissent qu'un minerai à la teneur de 12 à 15 p. 100 qu'on exploite de temps en temps, à ciel ouvert, sous le nom de Castine, pour les hauts-fourneaux du Rhône et de la Loire. »

AUDE. Le département de l'Aude renferme de nombreux gisements métallifères; mais leur position au milieu des montagnes, la difficulté et la cherté des transports, ont été des obstacles au développement de leur exploitation.

Les minerais de fer des Corbières et de la Montagne-Noire ne subissent pas de préparation mécanique avant leur emploi; ils sont calcaires, de fusion facile, ne renferment que des traces de soufre et sont exempts de phosphore; le plus souvent ils sont riches en manganèse. Leur rendement moyen au haut-fourneau est de 48 à 50 p. 100. Ils donnent des fontes douces, malléables et très-résistantes, propres par conséquent à la fabrication des fers fins et des aciers.

Le département de l'Aude a fourni plusieurs échantillons de minerai de fer à la collection exposée par le ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, savoir : carbonate de fer hydroxydé de la Caunette, hématite brune, de la même localité, hématite manganésifère des Corbières.

PYRÉNÉES-ORIENTALES. Du département des Pyrénées-Orientales nous avons remarqué : fer hydroxydé, fer oligiste de Fillols, fer carbonaté de Villafranca, de Thorrent.

Les mines exploitées dans les Pyrénées-Orientales sont situées sur les versants du Canigou, à Fillols, Vernet, Sahorre, Thorrent, Villafranca, les Indis. Elles donnent du fer hydroxydé ou hématite brune, de l'oligiste, du fer carbonaté décomposé (mine douce), du fer carbonaté et du fer oxydulé. Ces minerais, immédiatement propres à la fusion, sont manganésifères et très-propres à la fabri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cation des fers fins et des aciers ; leur rendement au haut-fourneau varie entre 40 et 50 p. 100.

ARIÉGE. La collection exposée représente la série des minerais de fer de l'Ariége : les belles hématites de Rancié, avec enduit de manganèse, dont l'extraction s'élève à 20,000 tonnes par an; celles de Becquey, les hématites géodiques, le fer carbonaté, le fer oxyde rouge, le fer oligiste, le fer magnétique. Ces divers minerais proviennent des concessions de Saurat, Rabat, Rivernert, Alzein, Ferrières, etc.

LOT-ET-GARONNE. Le département du Lot-et-Garonne offre plusieurs exploitations de fer oolithique ou pisolithique d'hématite ou de fer cloisonné, situées à Fumel, à Salles, à Sallat-Haut. Ces minerais, dont l'extraction s'élève à 40,000 ou 50,000 tonnes par an, alimentent les hauts-fourneaux des pays voisins et approvisionnent les usines de l'Aveyron; leur teneur moyenne est de 40 à 44 p. 100 de fer.

Le minerai prêt à être fondu revient, à l'usine de Fumel, située à 3 ou 4 kilomètres des gîtes, à 5 fr. la tonne.

Les minerais de Fumel, Salles et Duravel appartiennent au miocène ; ils sont le prolongement des gîtes qui couvrent les plateaux de la Dordogne.

BASSES-PYRÉNÉES. Dans les Basses-Pyrénées nous remarquons : le fer carbonaté et l'hématite de Baburet, le minerai de fer hydraté siliceux de Burkéguy et d'Ahargo, des hématites rouges et brunes.

Le minerai de Barburet consiste en un amas d'hématite brune et rouge, contenant des blocs de fer carbonaté et du fer oligiste disséminé ; il est enclavé dans des calcaires gris primaires, recouverts par des schistes noirâtres à proximité des éruptions amphiboliques.

Le fer hydroxydé silicaté de Burkéguy, d'Ahargo, d'Etchebar, d'Elgoyen, se trouve en filons, à peu de distance des roches amphiboliques, intercalées dans les calcaires jurassiques ou crétacés, Ces minerais rendent de 35 à 41 p. 100 de fonte; ils sont composés de :

Silice.	30.30
Peroxyde de fer.	58.00
Chaux.	2.60
Magnésie.	2.50
Perte par calcination.	5.00
	99.00

CORRÈZE. Les minerais géodiques, oolithiques de la Corrèze, exploités à Nespouls et Ferrières, ont pour gangue une argile ferrugineuse ou une matière sablo-siliceuse ; ils sont parfois manganésifères et donnent des fontes de bonne qualité.

INDRE. Le département de l'Indre fournit deux espèces de minerai de fer : 1° de l'hématite rouge ayant pour gangue du quartz et de la barytine ; elle traverse en filons les arkoses triasiques (Chaillac et Chénier) et contient 78 p. 100 de peroxyde de fer, 13 de silice et d'argile, 6 de barytine et 3 p. 100 d'eau ; 2° du minerai de fer en grains ou d'alluvion qui remplit des poches irrégulières creusées dans un grès argilo-siliceux tertiaire (miocène). Les grains d'hydroxyde de fer sont disséminés dans une gangue argileuse que l'on sépare par lavage.

Les minerais de fer en grains sont exploités à Rozets, Vaux, Cluis, Neuvy, Luaut, Reuilly, etc. ; ils sont consommés dans les usines de Fourchambault, de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Clavières et de la Cailloudière. Ils sont alumineux et un peu réfractaires; ils donnent de très-bonnes fontes et des fers de qualité supérieure; ils contiennent en moyenne 55 p. 100 de peroxyde de fer, 21 à 22 d'argile, de 7 à 8 d'alumine libre, 2 à 3 de carbonate de chaux, de 1 à 2 de carbonate de magnésie, et 12 p. 100 d'eau.

LOIRE-INFÉRIEURE. Le minerai de la Furetrie, de la Haute-Noe et de la forêt de Larche, d'une couleur jaune ou brune, est un hydroxyde de fer silicaté, renfermant 45 à 55 p. 100 d'oxyde de fer et 30 à 40 p. 100 de silice; il se trouve en amas dans les quartzites primaires, recouverts par des sables argileux tertiaires. Ils ne sont plus exploités.

INDRE-ET-LOIRE. L'exploitation des minerais de fer d'alluvion du département d'Indre-et-Loire qui donnaient 25 p. 100 de fonte douce a complétement cessé.

LOIR-ET-CHER. Les hauts-fourneaux de Pocé, de Frétéval et de Portillon étaient alimentés, il y a quelques années, par les minerais de fer d'Indre-et-Loire et par les hématites brunes en rognons de Château-Vieux, Mouteaux, Mesland, Onzain et Sautenay (Loir-et-Cher), qui se trouvent en amas irréguliers dans le terrain tertiaire supérieur.

VIENNE. Les minerais de la Vienne sont oolithiques; ils forment des amas dans le lias ou à la partie inférieure de l'oolithe; ils rendent en moyenne après lavage 42 p. 100 de fonte de bonne qualité, qui produit un fer doux et très-ductile; ils approvisionnent les hauts-fourneaux de Luchapt, Verrières, Belabre et la Gatevine. Les principales exploitations sont dans les communes de Vigean, Verrières, Journet et Saulgé.

EURE. Le département de l'Eure fournit à l'industrie sidérurgique du minerai de fer hydroxydé à gangue siliceuse et argileuse, en rognons disséminés dans les argiles à silex du terrain miocène. Ce minerai, exploité à Saint-Nicolas, Piseux, Couches, La Fidelaire et Nogent-le-Sec, alimente les hauts-fourneaux de Breteuil, Lallier et Couches. Son extraction ne dépasse pas actuellement 12,000 tonnes par an.

Les minerais de l'Eure sont assez purs; ils rendent en moyenne 36 p. 100 de bonne fonte.

MANCHE. Les minerais de fer de Ruffosses et de la Pierre-Butée sont formés de fragments d'hydroxyde de fer, associés à des sables, à des grès et à des terres provenant du remaniement des gisements pendant la période diluvienne; ils sont siliceux, exploités à ciel ouvert; leur teneur en fer varie de 23 à 28 p. 100. En 1863 leur extraction s'est élevée à 20,000 tonnes pour descendre à 9,500 en 1865; ils alimentent quelques usines anglaises des environs de Cardiff. Nous avons déjà parlé du minerai de Diélette.

ORNE, Les minerais de l'Orne sont des limonites compactes ou hydroxydes de fer. Les variétés tertiaires du Crulay, de Notre-Dame d'Aspres, d'Autheuil, qui alimentent le haut fourneau de Randonnaye, sont de très-bonne qualité; ils rendent de 32 à 40 p. 100 de fonte. Leur exploitation se fait par puits et galeries.

Les minerais de la Gatine et de la Ferrière se trouvent entre les grès à fucoïdes et les schistes ardoisiers (silurien) avec trilobites; ils présentent une grande analogie de gisement avec ceux de Ruffosses et de la Pierre-Butée. Ce sont des hydroxydes de fer renfermant de 33 à 38 p. 100 de fer et rendant en moyenne 35 p. 100 de fonte. Ils contiennent une petite quantité de phosphore et de silice; les usines de Courrouges et Saint-Denis-sur-Sarthon qui les traitent, ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fabriquent que des fontes de moulage, de sorte que la présence de ces matières étrangères ne nuit pas à la qualité de la fonte.

4° *Sidérose ou fer carbonaté.* — La sidérose ou fer spathique (carbonate de protoxyde de fer) est une substance d'une couleur gris jaunâtre, jaune chamois, passant au brun rougeâtre et au brun noirâtre; sa poussière est grise. Ces nuances brunâtres sont dues à une altération de la substance qui tend à se transformer en oxyde ferrique, surtout en présence d'une certaine proportion de manganèse. Elle cristallise sous le système rhomboédrique; sa forme primitive est un rhomboèdre obtus de 107°.

La sidérose se présente en cristaux, en masses lamellaires, en couches colorées en noir par des matières bitumineuses, en rognons, en plaquettes également colorées par des matières charbonneuses ou bitumineuses. Elle se présente en général en rhomboèdres primitifs, à faces le plus souvent courbes; elle se trouve aussi fréquemment en cristaux lenticulaires très-déformés, souvent crêtés (variété dite en crête de coq). Elle se rencontre aussi en masses lamelleuses ou grenues et en couches. On y distingue plusieurs variétés de forme et de composition, savoir :

1° Sidérose cristallisée, 2° sidérose lamelleuse, 3° sidérose sphéroïdale ou sphérosidérite en rognons à cassure fibreuse ou radiée. 4° sidérose lenticulaire en rhomboèdres arrondis, isolés ou groupés entre eux, 5° sidérose oolithique, plus ou moins altérée, en peroxyde de fer hydraté et en grains, 6° sidérose manganésifère, 7° sidérose calcarifère ou dolomitique.

Les variétés cristallines qui ne renferment pas de matières organiques sont désignées collectivement sous le nom de fer carbonaté spathique; les variétés colorées en noir ou en brun foncé, qui se trouvent dans les terrains houillers, sont connues sous le nom de fer carbonaté des houillères et de fer carbonaté lithoïde. La sidérose contient ordinairement plusieurs bases, les oxydes ferreux et manganeux, la magnésie et la chaux en proportions variant dans les diverses parties du même filon ou de la même couche. Plus elle est manganésifère, plus elle tend à brunir par l'exposition à l'air; la présence du manganèse est considérée comme étant la cause qui fait rechercher les minerais spathiques ou carbonatés pour la fabrication des aciers de Rives. Les sidéroses ne contiennent point d'acide phosphorique; elles donnent presque toutes des fontes très-pures, douées d'une propension aciéreuse à un très-haut degré. Ces fontes sont rarement sulfureuses, assez fréquemment elles renferment un peu de cuivre et d'arsenic. Le fer carbonaté des houillères à texture cristalline et en couches, est mélangé d'une manière très-intime avec du sable quartzeux, avec un peu d'argile; il contient quelques mouches de pyrite, de blende, de galène; il est traversé par des veines minces de sidérose cristallisée et de barytine; il contient une faible proportion de carbonate manganeux, calcique et magnésique, et de 3 à 5 p. 100 de matières organiques.

Les échantillons les plus riches rendent à l'essai 44 à 45 p. 100 de fonte; dans les bancs quartzeux, le rendement ne dépasse pas 35 p. 100.

Les plus beaux gisements de cette variété de sidérose se trouvent dans le terrain houiller du Gard, à Palmesalade, dans les concessions de la Grand' Combe, de Portes, etc.

Le fer carbonaté compacte ou lithoïde est généralement mélangé d'argile, de houille, de carbonate manganeux, calcique, de phosphates, de sulfures, d'arséniures.

Les sulfures et les phosphates sont parfois en proportion tellement faible que les minerais peuvent donner des fontes d'assez bonne qualité; d'autres fois, au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contraire, ces corps sont en quantité très-notable et masqués par les matières bitumineuses : alors ces minerais produisent des fontes sulfureuses, arsénicales et phosphoreuses, très-cassantes.

Ces minerais rendent en moyenne 38 p. 100 de fer.

Le tableau suivant donne la composition des fers carbonatés spathiques français :

	I. ALLEVARD. (Isère.)	II. VIZILLE. (Isère.)	III. PALMESALADE. (Gard.)	IV. BEZENET. (Allier.)	V. ANZIN.	VI. RIVE-DE-GIER.
Oxyde ferreux.....	52.00	52.60	54.00	52.00	35.00	25.00
Oxyde manganeux...	2.50	1.70	1.10	1.00	traces.	2.40
Chaux.....	»	1.60	0.60	2.25	1.50	3.50
Magnésie.....	5.50	3.00	traces.	0.75	»	5.60
Alumine.....	»	»	»	1.15	2.75	1.25
Silice.....	»	»	»	2.10	4.55	2.60
Acide phosphorique.	»	»	»	1.50	0.10	0.55
Arsenic.....	»	»	»	0.15	0.05	0.15
Argile.....	»	»	6.00	3.00	10.60	14.65
Quartz.....	»	3.20	2.10	»	20.00	16.00
Acide carbonique...	40.00	37.20	34.60	34.00	23.00	24.70
Eau. Matières organiques.....	»	»	1.60	2.10	2.45	3.60
	100.00	99.30	100.00	100.00	100.00	100.00

Le fer spathique forme des filons ou se trouve en couches puissantes dans les terrains anciens et dans les terrains primitifs et secondaires (Alpes, Pyrénées). On le trouve en filons dans le grès rouge du trias et dans le terrain primaire de la vallée de Baigorry ; dans les gîtes du pied du Canigou, il accompagne les hématites brunes. Les filons d'Allevard se trouvent au contact du gneiss et du terrain jurassique ou triasique.

Le fer carbonaté des houillères se présente en couches, en rognons, avec la texture cristalline (Palmesalade, Gard), ou bien compacte, coloré en noir ou en brun, plus ou moins foncé par des matières bitumineuses.

Le fer carbonaté lithoïde se trouve quelquefois en rognons dans les marnes supérieures du lias (Aveyron), ou dans le terrain crétacé supérieur (falaises des environs de Boulogne-sur-Mer). Mais son gisement le plus habituel est le terrain carbonifèrien ; il forme tantôt des rognons aplatis, tantôt des masses informes, disséminés dans les argiles schisteuses qui accompagnent la houille ou associés au grès houiller. Le bassin houiller de l'Aveyron est riche en minerai de fer lithoïde ; on le trouve aussi dans celui du Gard, de la Haute-Loire (à Brassac), de l'Allier, de la Loire. A Rives-de-Gier, Saint-Étienne, Terre-Noire, on trouve du minerai des houillères ; mais les gîtes sont si irréguliers que les espérances que l'on avait eues en créant les usines de Terre-Noire, de les alimenter avec ces minerais, ont été déçues.

Dans quelques rares localités la chamoisite (silico-aluminate d'oxyde ferrique hydraté) est exploitée comme minerai de fer (Morbihan, Moselle). A Hayanges, près de Thionville, elle forme un minerai bleu verdâtre associé au minerai oolithique.

Minerai houiller du Gard. — La partie occidentale du bassin houiller d'Alais renferme à plusieurs niveaux du fer carbonaté, disposé en couches ou en rognons. Le gisement le plus important est celui de Palmesalade, exploité par la Compagnie des fonderies et forges d'Alais. Il se compose de cinq couches dont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'épaisseur varie de 0m.80 à 3m.50. Les rognons se trouvent à Champelauson; ils sont exploités à Laffenadou.

Le minerai de Palmesalade est gris noir, très-compacte, à petites facettes brillantes : il donne un fer d'excellente qualité.

Le minerai carbonaté est aussi exploité dans les concessions de Portes et Sénechas, au-dessous de la couche de houille de Palmesalade.

ARDÈCHE. Aux environs de Merzelet et d'Ailhon, dans la partie inférieure du trias, au-dessous de la dolomie stratifiée, on trouve un minerai de fer carbonaté, blanc, compacte, lithoïde, alumineux, tenant 28 p. 100 de fer, mélangé à un minerai hydroxydé, jaune ou brun, caverneux, parfois un peu manganésifère, tenant de 40 à 45 p. 100 de fer.

AVEYRON. Le terrain houiller d'Aubin renferme du fer carbonaté; les plus importants gisements sont ceux de Tramont et Combes, concédés à la Compagnie de Decazeville. Ce sont des lentilles au milieu du terrain houiller.

La couche de Tramont a 2m.50 d'épaisseur; le minerai qu'elle donne rend de 37 à 40 p. 100 de fonte. Celle de Combes, plus puissante, de 3 à 5 mètres, produit aussi un minerai plus riche, qui rend jusqu'à 45 p. 100 de fonte.

Ces minerais reviennent à 6 et à 8 fr. la tonne, mais ils ne sont pas de très-bonne qualité; il est nécessaire de les mélanger avec des minerais de qualité supérieure dans les lits de fusion.

SAVOIE. Le fer spathique de Saint-Georges d'Hurtières forme des filons dirigés S.-E.-N.-O., encaissés dans le schiste talqueux, d'une puissance de 2 à 6 mètres. Le minerai, qui rend en moyenne 38 p. 100 de fonte, est moucheté de pyrite de cuivre, avec gangue de quartz. Sa fonte, obtenue avec ce minerai, est recherchée pour la qualité supérieure des fers et des aciers qu'elle produit.

LOIRE. Le bassin houiller de la Loire renferme du carbonate de fer lithoïde : à Saint-Étienne on l'exploite toutes les fois qu'on en rencontre des couches; à Rive-de-Gier, le carbonate est très-pur, mais il n'est pas abondant. On trouve aussi du carbonate de fer dans le bassin houiller d'Anzin, dans celui de la Haute-Loire et dans le département de l'Allier. Nous avons déjà parlé des beaux gisements de fer carbonaté qui se trouvent sur les flancs du Canigou et qui servent à alimenter les forges catalanes des vallées du Tech et de la Tet, ainsi que les hauts-fourneaux de Ria.

Pour terminer cette longue étude sur la richesse sidérurgique de la France, nous citerons les exposants qui ont envoyé des minerais de fer au Champ de Mars, et les minerais qu'ils traitent ou exploitent :

1° Société anonyme des hauts-fourneaux de Maubeuge (Nord) : Minerai carbonaté blanchâtre et gris de Maubeuge, minerai de Ruthegnemont, minerai de fer du bois du Tilleul; hématite brune (arrondissement d'Avesnes), limonite de Mayrent, du Boussoir, limonite jaune concrétionnée de Malplaquet, de Saint-Remy-Chaussée.

2° Fonderies d'Unieux (Loire). Jacob Holtzer et Cie : Sidérose lamelleuse, compacte, hématite concrétionnée, oligiste.

3° Hauts-fourneaux et forges d'Allevard (Isère) : Sidérose blanche et grise, sidérose lamelleuse, hématite, magnifiques échantillons de sidérose cristallisée, oxydée à la surface.

4° Fonderies de la Moselle : Carbonate de fer lamellaire de Nüsen.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5° Forges et laminoirs de Mouterchaussen-Niederbronn : Fer spathique blanc, oxyde de manganèse, hématite brune, hématite rouge, minerais en grains, en plaquettes, limonites : vitrine bien étiquetée.

6° Usines de Marquise Pinart et Cie : Hématites et fers géodiques.

7° Hauts-fourneaux et forges d'Ars (Moselle) : Fer oolithique.

8° Hauts-fourneaux et forges de Denain et d'Anzin : Minerai oolithique de Buisson (Haute-Marne), minerai de Tournai (Belgique), minerai oolithique de Longwy (Moselle), hématite de Bone (Algérie), minerai géodique de Boulogne (Pas-de-Calais), limonite de la Meurthe.

9° Lasson-Salmon et Cie, à Abainville (Meuse) : Minerai géodique et oolithique.

10° Compagnie des forges d'Audincourt (Doubs) : Minerai en grains et minerai oolithique.

11° Muaux et Cie, à Boutoncourt (Ardennes) : Minerais oolithiques de D'Aumetz (Moselle).

12° Forges d'Urville (Haute-Marne) : Minerais oolithiques et terreux de Mont-Gérard d'Urville, de Nancy, de Surbée.

13° Compagnie des fonderies et forges de Terre-Noire, La Voulte et Bességes. Cette Compagnie traite : 1° Minerai de fer de Pierre-Morte, près Bességes (hydroxydé), contenant 52 p. 100 d'oxyde de fer ; 2° magnétite d'Algérie, de 65 à 68 p. 100 de fer ; 3° carbonate de Garrucha (Espagne), 59.30 p. 100 d'oxyde de fer ; 4° carbonate des houilles de Portes, 72 p. 100 d'oxyde de fer ; 5° minerai de fer oolithique de Laissey (Doubs), 38.20 p. 100 d'oxyde de fer ; 6° hématite rouge de la Voulte.

14° Forges de Bazeilles (Ardennes) : Minerai de fer oolithique de Longwy et minerai vert silicifié de Semelle.

15 Jacquinot et Cie, à Solenzara (Corse) : Oligiste de l'île d'Elbe, oligiste d'Italie (San-Vicenzo et de la Spezzia), carbonate d'Espagne.

16° Minerais employés dans les usines Harel et Cie, à Givors : 1° Minerai de Grunaga, renfermant 54 p. 100 de fer ; 2° minerai de Mokta-el-Kadid, 67 p. 100 d'oxyde de fer ; 3° minerai de Polomaris, 47 p. 100 d'oxyde de fer ; 4° minerai de la Caunette, 56 p. 100 d'oxyde de fer ; 5° Minerai carbonaté de Vizille, 22 p. 100 de fer ; 6° Minerai hydroxydé de Saint-Quentin, 24.50 p. 100 de fer ; 7° Minerai de Souvance, 24.08 p. 100 de fer ; 8° Minerai de Soumah, 57 p. 100 d'oxyde de fer ; 9° Minerai de l'île d'Elbe, 60 p. 100 d'oxyde de fer.

17° Société métallurgique de la Vienne : Hématite et fer géodique.

18° Hauts-fourneaux et forges de Périgueux (Dordogne) : Hématite et fer géodique.

19° Petin-Gaudet et Cie. Cette importante Compagnie, qui possède plusieurs établissements métallurgiques, traite presque tous les minerais de la France ; elle s'alimente aussi à l'étranger, principalement en Sardaigne. Dans le chalet qu'elle a fait construire dans le parc, elle a exposé, avec les beaux produits de la métallurgie, du minerai oxydulé de Saint-Léon, de minerai en grains de Saint-Florent (Indre), etc.

20° La Compagnie anonyme des forges de Châtillon, Commentry et Ancy-le-Franc a exposé les minerais provenant des exploitations de Thostes et Beauregard.

21° La Compagnie du Creusot est certainement la première Société métallur-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gique de la France, autant par les affaires qu'elle embrasse, que par l'importance de sa production.

Les hauts-fourneaux du Creusot traitent les minerais de fer oolithiques et les minerais en grains de Mazenay, de Saint-Florent, etc.; l'oligiste micacé et métalloïde de l'île d'Elbe, le minerai de Mokta-el-Hadid, etc.

22° Compagnie des minerais de fer magnétique de Mokta-el-Hadid. Le minerai de fer magnétique de Mokta-el-Hadid, près de Bone, s'exploite à ciel ouvert. Il donne un fer d'excellente qualité. Les minerais de fer algériens améliorent nos minerais indigènes avec lesquels on les mélange dans la confection des lits de fusion. Aux environs de Bone on trouve encore d'autres gisements ferrugineux : tels sont ceux de la Bélélieta et du Bou-Hamra, qui alimentent les usines et les hauts-fourneaux de l'Alelik. Ces divers gisements, avec les usines qui en dépendent, sont réunis en association avec la Compagnie de Mokta-el-Hadid. Les Kabyles traitent avec le charbon de bois du pays les minerais de Bou-Aklan.

D'autres minerais de fer existent sur le littoral algérien. Dans la province d'Oran, on trouve des gîtes de minerais de fer à Djebel-Hadid, auprès de Tlemcen; à Kolla, au sud-est de Djemma-Gazaouat; à Aïn-Kabira; à Marsa-Honaïn; à Ouled-Sidi-el-Safi et sur plusieurs autres points. Le tableau suivant présente la composition de ces minerais, analysés par MM. Ville, Mœvus et Simon :

	I. DJEBEL-HADDID.	II. AÏN-KEBIRA.	III. NEDROMA.	IV. MARSA-HONAÏN.	V. OULED-SIDI-EL-SAFI.
	g.	g.	g.	g.	g.
Peroxyde de fer	0.72000	0.75300	0.913	0.34400	0.86000
Peroxyde de manganèse	»	»	»	0.04710	»
Carbonate de protoxyde de fer.	0.02626	0.06959	0.029	0.00730	0.03064
Carbonate de manganèse	»	»	»	0.01100	»
Carbonate de chaux	0.11607	»	0.035	0.20610	0.06944
Carbonate de magnésie	0.00227	0.00373		0.01201	0.00907
Argile, silice gélatineuse	0.03900	0.04500	0.023	0.19400	0.02200
Alumine unie à la silice	0.00806	0.01700	»	»	»
Chaux unie à la silice	0.00500	»	»	»	»
Magnésie unie à la silice	0.00073	»	»	»	»
Eau	0.07550	0.08950	»	0.10340	0.00680
	0.99283	0.99190	1.000	0.98431	0.99815

Les gîtes de minerais de fer sont nombreux dans l'ouest de la province d'Oran; ils sont fort riches, puisque leur teneur varie de 44.56 à 65.30 p. 100 en fer. Mais toutes les usines que l'on pourrait construire, pour traiter ces excellents minerais, se trouveraient dans de très-mauvaises conditions, à cause de l'absence de routes et de combustibles.

Dans la province d'Alger on connaît plusieurs gisements de minerai de fer. Les plus nombreux sont aux environs de Milianah : ce sont des hydroxydes et des carbonates d'une grande richesse.

Nous terminons ici notre travail. L'exposition des produits des pays étrangers nous entraînerait trop loin et nous ferait dépasser de beaucoup les limites qui nous sont assignées. Mais nous nous proposons bien de revenir sur cette étude importante, dont la place nous paraît naturellement indiquée dans les *Annales*

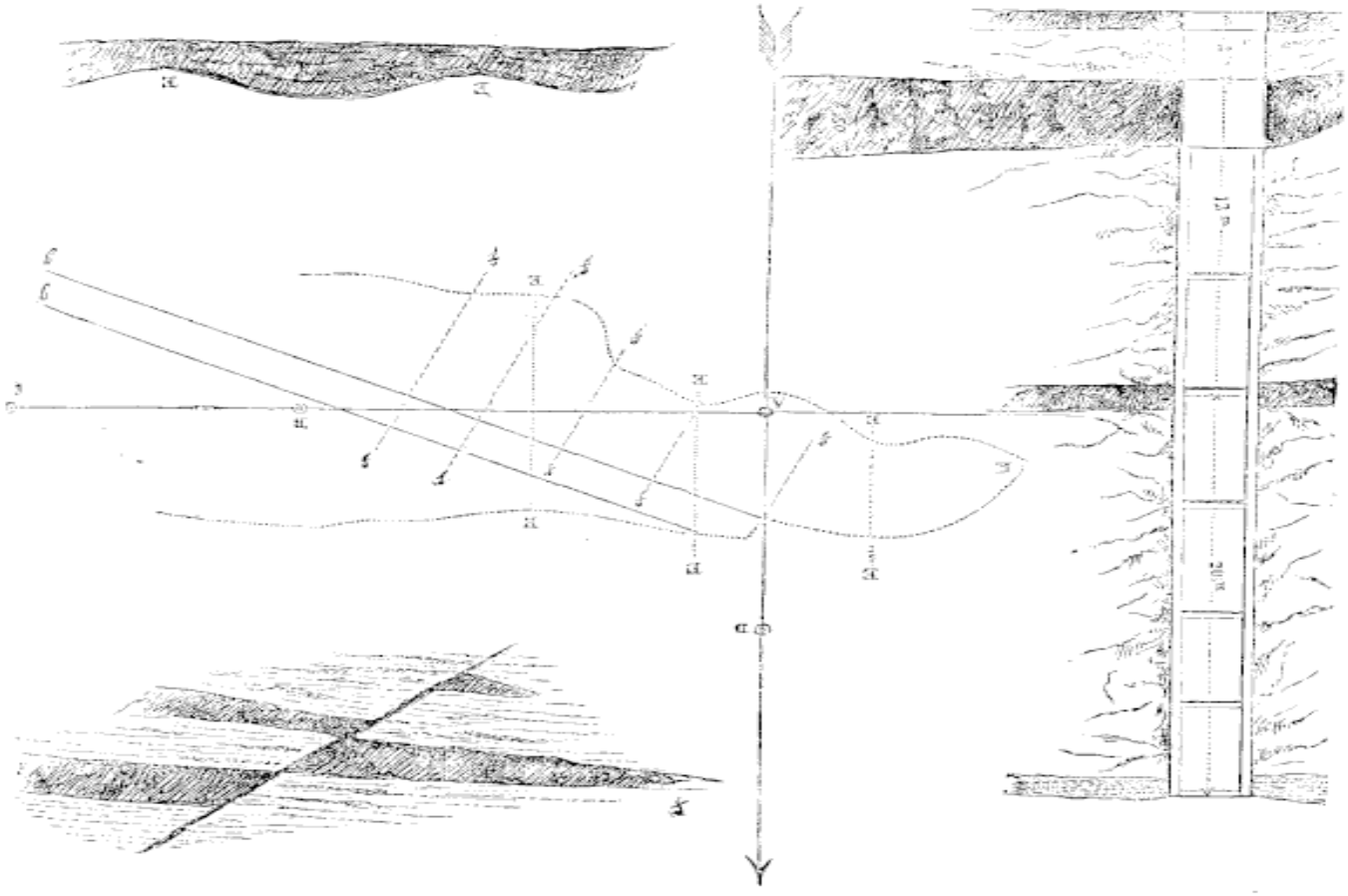
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du Génie civil, dont les abonnés sont aussi les souscripteurs aux *Etudes sur l'Exposition*.

Les minerais métalliques des pays étrangers et les matériaux de construction exposés au Champ de Mars ne peuvent trouver une meilleure place que dans les *Annales du Génie civil*.

NOGUÈS.

ALLURE DU GITE PÉTROLIFÈRE DE SCHWABWILLER DANS LE BAS-RHIN[1].



1. Un accident arrivé au dessin nous a obligé de reléguer à la fin de l'article ce petit plan dont la place était indiquée page 384.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXV

LA PAPETERIE

(CLASSE VII.)

PAR **MM. PAYEN**, MEMBRE DE L'INSTITUT, et **VIGREUX**, INGÉNIEUR CIVIL.

INTRODUCTION.

HISTORIQUE, PROGRÈS RÉALISÉS, UNE FABRIQUE DE PAPIER.

Pour nous conformer au cadre adopté pour ces études, nous avions à rechercher l'origine de l'industrie du papier et à suivre ses transformations à travers les siècles.

Un des volumes de la *Bibliothèque des professions industrielles et agricoles*, le *Guide pratique de la fabrication du papier et du carton*, par M. A. Prouteaux, directeur de la papeterie de Thiers (Puy-du-Dôme), nous dispense de ce travail. En effet en tête de ce livre, fort remarquable à tous les titres, nous trouvons un aperçu historique de la fabrication du papier.

« Le mot papier, dit M. Prouteaux, dérive du mot grec πάπυρος, papyrus, plante d'Égypte, qui, pendant longtemps, a servi chez les anciens pour l'usage de l'écriture.

« La fabrication du papier de papyrus était en grand honneur chez les Romains; elle fut détrônée vers le cinquième siècle de notre ère par le papier de coton appelé *carta bombycina*.

« Plusieurs manuscrits ayant date authentique appartiennent au dixième siècle, et si l'on juge d'après l'aspect de l'écriture, d'autres paraissent remonter à une époque bien plus reculée. Les grandes bibliothèques de l'Europe possèdent presque toutes des ouvrages des onzième et douzième siècles, écrits sur du papier bombycien.

« Les procédés employés à cette époque, pour opérer la transformation du coton en papier, ne nous sont pas connus; mais il est permis de supposer qu'ils étaient analogues à ceux qui servirent plus tard à la fabrication du papier de chiffon, dont la découverte date de la seconde moitié du douzième siècle. C'est du moins l'opinion de la plupart des savants qui ont écrit sur cette matière.

« En 1762, M. Miermann proposa un prix pour celui qui présenterait le manuscrit le plus ancien écrit sur du papier de chiffon.

« Les différentes pièces des mémoires de ce concours, imprimées à La Haye en 1767, s'accordent pour admettre que l'on faisait usage de ce papier avant l'an 1300.

« On ignore à quel peuple on doit cette importante découverte. Scaliger l'attribue aux Allemands; Maffei aux Italiens. Nous pensons que le docteur Prideaux est plus dans le vrai en regardant les Arabes, sinon comme inventeurs, du moins comme importateurs de cette fabrication en Europe.

« Quelques historiens admettent que les Croisés rapportèrent en France cette industrie, qui allait en peu de temps prendre un développement prodigieux et contribuer plus que toute autre au progrès de la civilisation moderne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, le papier de chiffon se fabriqua à la cuve ou à la main, par des procédés qui existent encore aujourd'hui en France, dans quelques départements, le Puy-de-Dôme, par exemple.

« La première idée de fabriquer le papier par procédé mécanique revient à la France. En 1798, *Robert*, ouvrier attaché à la papeterie d'Essonne, prit le premier brevet d'invention pour fabriquer le papier continu.

« Sa machine, installée en 1799, était très-imparfaite; elle ne put fonctionner. M. *Léger Didot*, propriétaire de la papeterie d'Essonne, acheta le brevet de Robert, introduisit quelques perfectionnements au système primitif et passa en Angleterre pour le faire exécuter.

« Après bien des tâtonnements, et puissamment secondé par les connaissances mécaniques de M. *Donkin*, employé dans les ateliers de M. Hall, il parvint à faire marcher régulièrement, en 1803, à Frogmore, dans le comté de Herford, la première machine à papier.

« En 1804, une seconde machine fut montée à Two-Waters. MM. *Berthe et Grevenich* installaient en 1811 la première machine à papier française à leur fabrique de Sorel (Eure-et-Loir).

« Ils furent les premiers fabricants qui répandirent dans le commerce des papiers mécaniques collés en cuve.

« Les travaux de *Berthollet* ayant jeté un grand jour sur la question du blanchiment des étoffes, on commença bientôt à adopter le chlore comme agent décolorant des pâtes à papier.

« En 1827, on ne comptait encore en France que quatre machines; en 1833, ce nombre dépassait douze.

« A cette époque, cependant, la machine à papier était loin d'avoir reçu ses derniers perfectionnements. Les fabricants se plaignaient de l'engorgement fréquent de la toile métallique, d'une destruction trop prompte des feutres, etc.

« Le papier conservait aussi, sur le côté appelé envers, l'empreinte de la toile métallique. Un système de cylindres presseurs imaginés par M. *Donkin* fit disparaître ce défaut.

« M. *Firmin Didot*, dans le même temps, installa à sa papeterie de Mesnil-sur-l'Estrée (Eure) les premières presses à sécher.

« La papeterie française prit alors un nouvel essor. Un grand nombre de fabricants établirent à la place de leurs moulins et de leurs maillets des cylindres et des machines. Partout on substitua, au collage à la gélatine, le collage végétal composé d'un mélange de savon résino-alumineux et de fécule.

« Vers 1840, M. *de Bergue* imagine les sabliers qui retiennent, comme l'indique leur nom, les graviers et autres impuretés dont la présence dans le papier endommage les caractères d'imprimerie, les gravures sur bois, celles en taille-douce, etc. M. *Canson*, d'Annonay, applique à la machine à papier les pompes aspirantes, qui enlèvent, par-dessous la toile métallique, au fur et à mesure de la formation du papier, une grande partie de l'eau contenue dans la pâte. L'utilité de ce perfectionnement fut si évidente, que ces pompes devinrent aussitôt d'un emploi général.

« L'introduction du kaolin dans le papier le rendit plus propre à recevoir l'impression et les gravures courantes. Le chiffon devenant de plus en plus cher, ce fut également un moyen de ne pas augmenter le prix du papier.

« La rareté de cette matière première commençant à se faire sentir, on chercha l'utilisation de substances autres que le chiffon pour la fabrication des papiers communs.

« En 1839, la papeterie d'Écharcon présente à l'Exposition nationale des feuilles de papier fabriquées avec du varech, du bois, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« M. Cardon de Buges (Loiret) fabrique avec les vieux cordages de la marine du papier goudronné pour emballages.

« Ces produits, à leur apparition, furent très-recherchés pour les articles de quincaillerie et de coutellerie, qu'ils préservent de la rouille.

« M. May fait à la papeterie des Marais du papier avec des feuilles de bananier.

« M. Herygoyen utilise la paille de seigle pour des pliages communs.

« Un perfectionnement important, au matériel des papeteries, fut l'adaptation aux cylindres de tambours laveurs, qui débarrassent mieux les pâtes des traces de chlore qu'elles peuvent renfermer au commencement du raffinage. L'idée première de cette invention appartient à MM. *Breton frères*. Elle ne se répandit qu'après avoir subi les modifications dues à M. *Blanchet*, de Rives, qui fit de ces tambours ce qu'ils sont aujourd'hui.

« En 1844, les papiers mécaniques livrés au commerce étaient d'une grande blancheur. Malheureusement, ils étaient bien inférieurs en tenacité à ceux fabriqués à la cuve.

« L'emploi du chlore en proportions exagérées altérait la résistance des filaments; le lavage des pâtes, dans beaucoup de fabriques, laissait à désirer; certains papiers contenaient du chlore libre. Il en était résulté une dépréciation du papier français qu'il était urgent de faire disparaître.

« Aussi, après avoir abusé du chlore gazeux, revint-on à l'emploi du chlore liquide (dissolution d'hypochlorite de chaux dans l'eau) d'une manipulation plus facile pour les fabricants qui ne sont pas familiarisés avec les préparations chimiques.

« En 1849, l'industrie de la papeterie, éclairée par les fautes commises de 1834 à 1845, prit une marche plus sûre. La composition des pâtes fut mieux étudiée. Les papiers d'impressions communes et les papiers écoliers ordinaires furent fabriqués avec un mélange de chiffons bulles et de coton employés autrefois à la confection de papiers grossiers. Dès lors on conserva les chiffons blancs pour les papiers fins de qualité supérieure, dont le débit prenait une extension considérable.

« L'Exposition universelle de Londres, en 1851, permit d'apprécier le développement de l'industrie du papier, au commencement de la seconde moité du dix-neuvième siècle.

« Nous extrayons les chiffres suivants du rapport de la commission :

	Machines à papier.	Cuves.	Cylindres.
France	210	250	
Angleterre	322	266	1,616
Écosse	58	19	286
Irlande	33	15	86
Zolverein	140	1,024	800 papeteries.
Prusse	72	503	
Bavière	11	257	
Saxe	6	68	
Grand-Duché de Hesse.	1	27	
Électorat	6	39	
Duché de Bade	14	38	
Nassau	6	30	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Autres États d'Europe.

	Machines.	
Autriche	49	900 cuves.
Danemark et Holstein	6	20 —
Suède	7	8 —
Belgique	28	80 papeteries.
Pays-Bas		168 —
Royaume Lombard-Vénitien	6	
Royaume des Deux-Siciles	12	12 cuves.
États-Romains	3	
Royaume de Sardaigne	12	50 cuves.
Toscane	2	
Espagne	17	250 —
Suisse	26	40 —
Turquie	1	
Russie	25	

« Si l'on doit ajouter foi aux relevés statistiques de l'Amérique du Nord, on ne compterait pas moins de 3,000 machines et 750 papeteries aux États-Unis, produisant 113 millions de kilogrammes de papier chaque année.

« En évaluant à 610 kilog. la production journalière de chaque machine et 50 kilog. pour une cuve, on arriverait, pour ces différents pays, à la production annuelle suivante :

Angleterre	62,960,000	kilogrammes	de papier.
Écosse	14,300,000	—	—
Irlande	3,309,000	—	—
France	41,680,000	—	—
Zollverein	37,000,000	—	—
Autriche	23,320,000	—	—
Danemark	1,600,000	—	—
Espagne	5,330,000	—	—

« Depuis 1851, l'industrie du papier s'est accrue en France, mais les perfectionnements sont de peu d'importance, malgré le grand nombre de brevets qui ont été pris. On doit citer cependant la tendance générale à substituer les grandes machines aux petites, permettant d'obtenir jusqu'à 2,600 à 3,000 kilog. de papier par 24 heures. Le mécanisme a été mieux étudié; le nombre des presses humides et des cylindres sécheurs a été augmenté; on est également parvenu à fabriquer du papier d'impression en mêlant aux pâtes de chiffon une proportion assez considérable de bois, de paille, de sparte surtout, dont l'emploi est presque général en Angleterre pour les papiers de journaux et les impressions communes.

« Les papiers de luxe anglais sont collés généralement à la gélatine. Ils possèdent une sonorité et une résistance qu'il est impossible de donner par le collage végétal ou à la résine.

« La première machine à papier française, munie des appareils nécessaires pour employer ce genre de collage, à été montée, vers 1857, par M. Outhenin-Chalandre, à la papeterie de Savoyeux (Haute-Saône). L'emploi de la colle animale permettant l'introduction dans le papier d'une très-forte proportion de chiffons de coton, il résulte pour le fabricant un bénéfice qui compense largement les grands frais d'installation que ce système de collage nécessite. »

A propos de l'encollage à la gélatine nous pouvons ajouter un détail : ce procédé est pratiqué depuis longtemps en Chine. En effet, nous trouvons dans les *Industries anciennes et modernes de l'Empire chinois* de M. Stanislas Jullien, avec des notes de M. Champion, les renseignements suivants :

« Les habitants du Céleste-Empire connaissent plusieurs procédés pour coller le papier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Ils font tremper dans de l'eau du riz gélatineux, pendant 12 heures, et ils l'écrasent ensuite en y ajoutant une nouvelle quantité d'eau ; le liquide sirupeux ainsi obtenu est passé sur un filtre de soie et additionné de poix oléagineuse (*Dolichos*) qui renferme jusqu'à 16 pour 100 d'huile. Le mélange, brassé soigneusement jusqu'à ce qu'il soit bien homogène, est chauffé jusqu'à l'ébullition ; on y ajoute une petite quantité de cire jaune et d'alun, et on laisse refroidir quand l'action de la chaleur a été suffisamment prolongée. La colle est alors prête à être employée ; on l'étend sur le papier à l'aide d'un pinceau et on la laisse sécher spontanément à l'ombre.

« Dans quelques autres cas, on se sert de gélatine et d'alun, mais les Chinois prétendent que cette méthode est défectueuse, qu'elle ne donne pas de bons résultats, et qu'elle offre enfin l'inconvénient de restreindre le nombre de matières colorantes qu'on pourrait appliquer sur le papier. Ce mode de collage s'effectue de la manière suivante : on pile des gousses noires de fèvier de Chine (*Mimosa fera*), on les fait tremper dans l'eau pendant 24 heures, et on les soumet à l'ébullition. Le liquide obtenu est filtré et passé sur les feuilles de papier, que l'on fait sécher à l'air : il ne reste plus qu'à y verser une couche d'alun, et elles peuvent alors recevoir des matières colorantes.

« Le collage des papiers se fait enfin quelquefois avec des sucs végétaux additionnés d'alun. »

Nous avons reproduit ces renseignements parce qu'ils renferment des indications qui peuvent être utiles pour nos fabricants.

Revenons maintenant aux progrès de l'industrie accomplis en Europe. Entre 1851 et 1855, des perfectionnements s'étaient produits : la France et l'Allemagne avaient inauguré la fabrication perfectionnée des papiers vergés à la machine qui, avant 1851, n'était guère appliquée qu'en Angleterre. — Partout on avait essayé de remplacer les chiffons par d'autres matières fibreuses. — M. Didot avait expérimenté un procédé pour le blanchiment des pâtes à l'aide d'un courant d'acide carbonique conduit dans l'hypochlorite de chaux. — M. d'Oliveira de Pimentel (Portugal) avait employé sur une grande échelle l'agave comme matière première. — La Compagnie des Indes avait réuni une collection considérable de substances non seulement propres à la fabrication du papier, mais aussi à celle des tissus : pailles, bois de natures diverses, écorces de certains arbres, etc.

L'Exposition de 1862 ne révèle pas de progrès proprement dits : les essais continuent, tantôt timides, tantôt audacieux pour trouver des succédanés au chiffon. L'application du libre échange qui facilite la sortie des chiffons nécessite ces essais qui cependant, en 1862, n'avaient pas donné de résultats vraiment industriels. Ce que l'on pouvait constater à Londres c'était une nouvelle amélioration dans les procédés de fabrication : les pâtes étaient mieux préparées, l'emploi des machines mieux entendu, l'outillage simplifié ; mais l'idée dominante des fabricants paraissait être de produire beaucoup et à bon marché, en reléguant au second plan la nécessité de lutter au point de vue de la perfection.

Avant de parler de l'Exposition de 1867, arrêtons-nous d'abord quelques instants dans une fabrique de papier.

Les chiffons sont arrivés à l'usine par balles de 200 à 300 kil. Ils ont subi un triage préalable et ont été séparés en blancs fins de fil ; — en blancs ordinaires ; — en cotons blancs ; — en cotons de couleur ; — en bulles et emballages.

Si ce triage préalable n'a pas été fait avec soin, il est *revisé* à l'usine avant que les chiffons ne soient livrés par *sortes* aux ouvrières *défisseuses*. Celles-ci, au moyen d'une faux fixe, coupent les chiffons suivant le sens de la chaîne ou de la trame en observant de leur donner certaines dimensions variant de 5 à 12 cen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

timètres sur chaque côté. Les morceaux sont placés dans des casiers d'après les sortes auxquelles ils appartiennent, et l'on arrive ainsi à une classification nouvelle qui comprend une soixantaine de numéros et qui, pour les chiffons de fil, chanvre et lin, va des *blancs fins neufs* aux *déchets de filatures* en passant par les *coutils*, les *bulles*, les *cordes*: pour les chiffons de coton, des *blancs neufs propres* aux *déchets de blutoirs* en passant par les *mousselines*, les *bas tricotés*, les *cordes* et *franges*, etc.

Les chiffons de laines pures ou mélangées, les soies, les papiers sont également placés dans des casiers séparés.

Au délissage succède le *blutage*, opération que son nom fait suffisamment comprendre. Les chiffons sont placés dans un tambour auquel on imprime un mouvement rapide de rotation. Par ce mouvement, les chiffons subissent un frottement qui enlève les impuretés pouvant y être restées attachées et qui vont s'échapper par les mailles d'une toile métallique qui sert d'enveloppe au blutoir.

Les chiffons qui ont subi le blutage passent à la *lessive* dans des *lessiveurs rotatifs à vapeur*, chaudières cylindriques qui peuvent en contenir jusqu'à 1,500 kil., et que l'on ferme hermétiquement après y avoir introduit une lessive de soude ou de chaux.

L'opération suivante, le *défilage* a pour but de changer la forme de la matière première, c'est-à-dire de la dépouiller de toute substance étrangère et de la transformer en une *pâte* homogène qui a reçu le nom d'*ouvrage*. Pour obtenir ce résultat, les chiffons sont placés dans une *pile* (en fonte, en bois ou en pierre), où ils subissent un frottement énergique en passant sous un cylindre au milieu d'une grande quantité d'eau.

Avant de passer au blanchiment, la pâte obtenue doit être *égouttée*, ce qui a lieu au moyen de presses à vis ou de presses hydrauliques, ou bien encore au moyens d'appareils spéciaux, tels que des essoreuses ou turbines à force centrifuge.

Après l'égouttage, la pâte a pris de la consistance et reçoit le nom de *gâteau*. Les gâteaux sont *blanchis* au moyen de chlorures, de chlorates et du chlore gazeux. On les a placés dans des piles nommées *blanchisseuses* où un bain chloruré a été préalablement déposé.

Au blanchiment succède le *raffinage*, opération qui a pour but de rendre la pâte encore plus homogène; lorsque le raffinage paraît suffisant, on laisse la pâte s'écouler dans les cuves d'alimentation de la machine à papier. Nous avons omis de dire que c'est pendant l'opération de raffinage qu'on verse dans les piles les matières propres au collage du papier (colles, fécule, savons résineux, alun) et certaines matières colorantes qui ont pour but de rendre le papier plus agréable à l'œil, en lui faisant perdre la teinte jaune qu'il aurait eue si l'on n'avait ajouté à la pâte quelques grammes de bleu et de rouge.

Nous voici enfin arrivés à la machine à papier.

En même temps qu'un robinet laisse arriver la pâte de la cuve d'alimentation à la première cuve en tête de la machine, un autre robinet laisse écouler de l'eau, de manière qu'il se forme un mélange dont la densité varie d'après l'épaisseur du papier qu'on veut produire, c'est-à-dire que le conducteur laisse entrer plus ou moins de pâte ou d'eau d'après la qualité et l'épaisseur du papier à obtenir.

La pâte vient s'étaler ensuite sur une toile métallique qui est animée d'un double mouvement de translation et de va-et-vient. A mesure que la toile avance, l'égouttage s'opère; la pâte prend de plus en plus de consistance et va passer successivement sous diverses presses humides d'abord, puis sous des cy-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lindres sécheurs. L'opération est terminée : les chiffons que nous avons vus au début se sont transformés en papier.

Quelles seront les destinées de ce papier ? Servira-t-il à l'impression de chefs-d'œuvre qui honorent le génie de l'homme ou d'une de ces publications ignobles qui dégradent l'humanité ?

Que sçais-je ? a dit Montaigne.....

Maintenant que nous avons résumé la fabrication du papier en analysant les renseignements très-complets que donne M. Prouteaux, dans l'ouvrage que nous avons cité au début de cet article, nous passons la plume à un de nos collaborateurs mieux en mesure que nous de décrire les machines qui ont figuré à l'Exposition de 1867 ; mais nous devons cependant dire quelques mots du caractère des produits exposés.

Le jury international, c'est M. Roulhac qui le dit dans le rapport officiel, a constaté une amélioration très-remarquable dans la qualité moyenne des papiers. Cette amélioration est due au courage et à l'intelligence des fabricants qui, n'hésitant plus à faire le sacrifice de leur ancien matériel, ont généralement meublé leurs usines des machines et outils inventés ou perfectionnés dans ces derniers temps, et c'est grâce à leur outillage perfectionné que beaucoup de fabriques, réléguées autrefois à un rang inférieur, prennent une bonne place parmi leurs rivales; mais, s'il y a eu des progrès très-remarquables, il n'a pas été donné au jury de signaler une découverte importante, une invention capitale dans la papeterie...

La papeterie française comptait 52 exposants : tous les genres de papier y étaient représentés, et un examen comparatif donnait la conviction que, si beaucoup de maisons s'efforçaient de dépasser leurs émules par l'amélioration des qualités, il en était d'autres aussi qui ne s'attachaient qu'à pouvoir étiqueter leurs papiers à des prix inférieurs à ceux des papeteries rivales. Cette dernière compétition a pour résultat de donner des produits inférieurs qui sont employés pour certaines publications à bon marché se tirant à un grand nombre d'exemplaires, mais qu'un jour voit naître et que le lendemain voit mourir. Texte et papier sont destinés à avoir une égale durée.

Les papiers envoyés par l'Angleterre étaient surtout remarquables au point de vue du satinage et du glaçage.

En Allemagne on se préoccupe surtout de la qualité, de la solidité du papier : les spécimens étaient fort beaux.

La Russie a fait des progrès notables : aussi avons-nous vu sans étonnement dans l'*Aperçu statistique des forces productives de la Russie*, que la fabrication du papier y figure pour une somme annuelle de 24 millions de francs. D'ailleurs, les chiffons sont abondants dans l'Empire moscovite : la fabrication du coton y représente une somme annuelle de 400 millions de francs.

Le Danemark n'avait pas une exposition en rapport avec son industrie papetière qui est très-importante : pour citer un exemple, la maison Drewsen et fils occupe 100 ouvriers, 100 ouvrières, et produit annuellement un million de kilogrammes de papier.

La Belgique a envoyé des papiers médiocres d'un bon marché exceptionnel. Nous passerons sous silence l'Espagne et le Portugal. Quant à l'Italie, il y a quelques progrès à signaler, mais ces progrès se produisent très-lentement.

Pour les pays hors d'Europe, c'est surtout l'emploi de matières autres que le chiffon qu'il faut signaler, et l'examen de ces produits, qui n'entre pas dans le cadre de cette introduction, trouvera sa place naturelle dans le travail de notre savant collaborateur, M. Payen de l'Institut. E. L.

(*La fin au prochain fascicule.*)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MOULINS A VENT

(Planches 254 et 255.)

PREMIÈRE PARTIE.

THÉORIE DES MOTEURS A VENT.

CHAPITRE PREMIER.

DE L'ORIGINE ET DE LA CLASSIFICATION DES VENTS.

§ I. — Causes générales des courants atmosphériques.

1. Les différences entre les températures des divers lieux du globe sont les principales causes des courants atmosphériques.

L'air, au point le plus échauffé, s'élève et se trouve remplacé continuellement par de l'air venant du point le plus froid.

Les courants, ascendants et descendants, qui résultent de cet échange de température entre les divers points du globe, prennent bientôt des directions parallèles au sol, par suite de la résistance des couches d'air supérieures, combinée avec l'attraction terrestre et la rotation du globe.

2. Telle est l'origine des vents dont la direction géographique varie avec la latitude, la configuration et le relief des continents. Leur force, ou leur intensité, varie avec les mêmes circonstances et surtout suivant les saisons.

§ II. — Vents constants.

3. On appelle vents réguliers, ou constants, ceux qui soufflent toute l'année à peu près dans la même direction. Ces courants ont une cause constante, énergique. Les seuls vents réguliers que l'on observe sont les vents alisés qui, dans l'hémisphère boréal, soufflent du N.-E. au S.-O., et du S.-E. au N.-O. dans l'hémisphère austral.

4. Voici une explication plausible de ces courants constants.

L'air, qui s'échauffe beaucoup et vite à l'équateur, s'élève du sol animé de deux vitesses, l'une verticale ou d'ascension et l'autre horizontale ou d'entraînement de l'ouest à l'est. Cet air ne peut s'élever indéfiniment, car il éprouve une résistance croissante de la part des couches supérieures de plus en plus froides qu'il rencontre; et, de plus, il est toujours soumis à l'attraction terrestre. Ainsi l'air échauffé à l'équateur s'élève avec une tendance de plus en plus grande à se répandre à droite ou à gauche sous les couches supérieures. En vertu du *principe naturel* du *moindre travail*, une partie de l'air échauffé tend à se répandre vers le pôle nord, et l'autre vers le pôle sud.

Mais, en s'élevant de terre, l'air échauffé à l'équateur laisse un vide, que l'air plus froid des hautes latitudes tend à remplir. Il y a donc, dans les hautes ré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gions atmosphériques, tendance à un mouvement de l'équateur vers les pôles et, à la surface du sol, tendance inverse. L'air est ainsi entraîné dans un mouvement allongé de rotation de chaque pôle vers l'équateur, sur le sol; et, de l'équateur vers les régions polaires, dans le haut de l'atmosphère.

Chaque molécule d'air décrit donc une courbe allongée en arrivant pour s'échauffer à l'équateur, s'élevant en ce point pour aller se refroidir aux pôles et revenir se réchauffer dans un mouvement continu.

Quelle est la direction géographique moyenne de ce mouvement de rotation?

L'air qui vient du pôle où il s'est refroidi, pour se réchauffer de plus en plus en allant à l'équateur, forme un courant constant dès qu'il arrive dans les régions équinoxiales, parce qu'alors l'appel est de plus en plus énergique. En raison du sens de rotation de la terre, et parce qu'il tend à s'élever de plus en plus, cet air est laissé de plus en plus en retard par les points solides du globe. Son mouvement relatif, en descendant du pôle à l'équateur, est donc du N.-E. au S.-O. dans l'hémisphère boréal, et du S.-E. au N.-O. dans l'autre hémisphère; ce que l'observation vérifie.

5. La constance de ce courant ne peut se remarquer que lorsque sa vitesse est devenue assez grande pour que les causes secondaires (les montagnes, les amas d'eaux, etc.) ne le puissent plus faire dévier. C'est ce qui arrive sur mer dans les régions équinoxiales : les vents y sont constants.

6. Dans les régions tempérées, le courant *alizéen* n'a pas encore assez d'importance pour que les causes secondaires ne le modifient beaucoup suivant les lieux et les saisons, de façon à remplacer ce vent constant par des vents très-variables.

§. III. — Vents périodiques.

7. Certains vents sont annuellement périodiques, c'est-à-dire qu'ils soufflent régulièrement et dans la même direction pendant les mêmes saisons.

8. Ainsi la *mousson*, dans les mers au sud de l'Asie, souffle du S.-O. au N.-E., d'avril en août. Pendant ces quelques mois, l'air s'échauffe beaucoup plus rapidement sur le continent asiatique que sur mer : il en résulte un courant ascensionnel sur le continent et un courant horizontal de l'air marin vers le continent; ou un mouvement de rotation de l'air qui de la mer va s'échauffer sur le continent, s'élève alors pour revenir se refroidir sur la mer et retourner s'échauffer sur le sol.

9. La mousson, dans les mêmes parages, a un sens opposé, d'octobre à février : en effet, l'air alors se refroidit plus vite sur le continent que sur la mer. Donc il s'élève ici et est continuellement remplacé par l'air plus froid venant du continent. La rotation, dans cette saison, a le même sens que les vents alisés. Les deux causes agissent alors dans le même sens.

10. Ainsi, pendant les mois les plus chauds, la cause secondaire du mouvement de l'air, la différence de capacité calorifique de la terre et de l'eau, engendre la mousson en sens contraire des vents alisés et dominant ceux-ci, — tandis que, pendant les mois les plus froids, la même cause secondaire s'ajoute à la cause principale des vents alisés.

Dans les mois intermédiaires ou de température moyenne, les mêmes parages doivent être dans un calme plus ou moins parfait, sauf les variations diurnes dues à des causes tertiaires.

11. Les vents journellement périodiques s'observent près des bords de la mer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'air plus échauffé sur le sol que sur l'eau s'élève de terre et y appelle l'air froid de la mer. On a ainsi un courant superficiel dit *brise de mer*, tandis que, dans les régions élevées, se fait sentir un courant contraire. La brise de mer commence peu après le lever du soleil, et augmente jusqu'à deux heures pour diminuer ensuite et disparaître au coucher du soleil.

12. La nuit, le sol se refroidit plus vite par le rayonnement que l'eau : il en résulte que l'air est relativement plus chaud sur la mer que sur la terre : il s'élève donc sur l'eau et appelle l'air plus froid du rivage : c'est la *brise de terre*. Elle commence peu après le coucher du soleil, et devient de plus en plus forte jusqu'au matin, pour diminuer ensuite jusqu'à ce que l'air sur le sol ait pu être assez notablement échauffé pour engendrer le mouvement inverse.

13. Ces vents périodiques journaliers ne se font sentir qu'à une petite distance du rivage, soit sur mer, soit sur terre, parce que la cause est toute locale.

§ IV. — **Vents variables.**

14. Les vents variables sont ceux qui non-seulement varient d'intensité mais encore de direction, c'est-à-dire soufflent avec plus ou moins de force, tantôt dans une direction, tantôt dans une autre.

Ils sont le résultat de la lutte entre des causes secondaires et diverses, variables suivant les saisons et les localités.

15. Dans les zones glaciales, il y a parfois des vents qui dans le même moment soufflent de divers points de l'horizon.

16. Dans les régions tempérées, les vents sont encore très-variables. On appelle vent dominant celui qui règne pendant un plus grand nombre de jours chaque année.

Dans le nord de la France, en Angleterre et en Allemagne, c'est le vent du sud-ouest. Dans le midi de la France, c'est plutôt la direction du nord-ouest.

En Espagne et en Italie, le vent du nord est le vent dominant : les Alpes et les Pyrénées sont une des causes de ces courants.

17. Quelle que soit la variation du vent en un lieu donné, on pourrait, par de longues observations, se rendre compte des causes et des lois des variations, et par suite préjuger avec une assez grande probabilité la direction à un moment donné.

Ces études permettraient d'utiliser le mieux possible les courants atmosphériques, soit pour la conduite des navires, soit pour les moulins à vent. Elles exigent malheureusement des observations séculaires très-difficiles, et que les gouvernements et les sociétés scientifiques peuvent seuls provoquer et perpétuer.

CHAPITRE DEUXIÈME.

DE LA FORCE DU VENT.

§ I. — **Vitesses diverses des courants atmosphériques.**

18. Les mouvements de l'air se révèlent surtout à nous par l'entraînement de corps plus ou moins légers et par l'impression qu'il fait sur le sens du toucher.

19. On distingue à peine un courant d'air dont la vitesse est comprise entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

0m.50 et 1 mètre par seconde : c'est un *souffle*, un léger *zéphir* qui fait à peine trembler les feuilles des arbres.

20. Lorsque la vitesse atteint 2 mètres, c'est une *brise légère* qui secoue les feuilles et les fait bruire doucement.

21. Le mot *brise* s'applique plus spécialement à un vent dont la vitesse est assez grande pour nous donner une impression de *fraîcheur*, par la transpiration plus forte qu'il fait naître sur la figure et sur les mains ; on s'explique ainsi qu'on l'appelle *vent frais*. Sa vitesse est d'environ 4 mètres.

22. Les matelots disent que le vent est *bon frais* lorsqu'il tend visiblement les voiles des navires et devient ainsi très-favorable à la marche. La vitesse de l'air est alors de 6 à 7 mètres, et elle suffit pour soulever la poussière. C'est ce qu'on appelle une *forte brise*, le meilleur vent pour la marche des moulins à vent et des navires à voiles.

La vitesse est assez grande pour donner une force motrice considérable, mais elle est assez limitée pour ne pas compromettre la solidité des bras ou des ailes des moulins ou des mâts des navires.

23. Le vent appelé *grand frais* par les matelots cause une vive impression de fraîcheur : c'est une *très-forte brise*, une *brise carabinée* qui force à serrer les hautes voiles des navires et à diminuer la surface des ailes des moulins. La vitesse de l'air est alors de 10 à 12 mètres.

24. Au delà de cette dernière vitesse, les vents sont dits *très-forts*, ou *impétueux* ; ce sont même des *tempêtes* et des *ouragans*.

Tandis que la brise ne pouvait que soulever la poussière et agiter les feuilles, les vents impétueux font plier les arbres ; les ouragans les déracinent et enlèvent les toitures des maisons ; les plus forts renversent même les murs de clôture.

25. Voici un aperçu de la vitesse de ces grands vents :

Vent très-fort	15	mètres par seconde.	
Vent impétueux. . . .	20	id.	
Tempête	25	id.	Les arbres plient.
Violente tempête . . .	30	id.	Les arbres plient et se brisent.
Ouragan.	36	id.	Déracine les arbres.
Grand ouragan	45	id.	Déracine les arbres.
Ouragan exceptionnel.	61	id.	Déracine les arbres et renverse les maisons.

§ II. — Pressions dues aux divers vents.

26. Lorsque le vent vient frapper une plaque, il y exerce une pression qui croît très-rapidement avec la vitesse et que l'on peut mesurer de diverses manières.

27. Soit par exemple une plaque verticale AB (Pl. 254, fig. 1), tirée par une corde passant sur une poulie parfaitement mobile et tendue par un poids C. Si le vent souffle de X en Y, il tendra à faire marcher dans le même sens la plaque dès que la pression du vent dépassera un tant soit peu la tension T qu'exerce le poids sur la corde et qui, par une poulie très-mobile et un fil fin inextensible, est égale au poids C. Donc, en cherchant quel est le poids qui fait équilibre à la pression sur la plaque AB, on a la valeur de la pression P.

28. Le poids serait avantageusement remplacé par un ressort gradué armé d'un style ou d'un crayon marquant sur un papier qui se déroulerait, par un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement d'horlogerie, des ordonnées proportionnelles aux pressions exercées (fig. 2).

29. La pression par mètre carré sera le quotient de la pression totale, exprimée en kilogrammes, par la surface totale de la plaque, exprimée en mètres.

30. Une disposition plus commode pour les essais improvisés est représentée par la fig. 3. La plaque pesante AB est suspendue comme un balancier à un point inébranlable O. Le vent en frappant sur la plaque la soulève jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre toutes les forces appliquées à cette plaque. Ces forces sont le poids G dont la direction et la grandeur sont connues, la réaction R du point de suspension sur la plaque, et enfin la résultante P de toutes les pressions de l'air en mouvement sur chaque point de la plaque. Cette résultante P, comme le poids G et la réaction R, passent par le centre de gravité de la plaque homogène AB.

Pour être en équilibre, ces trois forces doivent être dans un même plan, et l'une quelconque d'elles doit être égale et directement opposée à la résultante des deux autres. Si donc nous prolongeons la réaction R indéfiniment; que, par l'extrémité G du poids, nous menions une horizontale (parallèle à la pression P) qui rencontre en R' la réaction prolongée; qu'ensuite, par R', nous menions une verticale (parallèle au poids) jusqu'à la réaction de la force P, nous aurons en GMPR' le parallélogramme d'équilibre des trois forces.

Les trois côtés du triangle MGR' seront proportionnels aux trois forces G, P et R, et par suite nous aurons :

$$\frac{GR'}{MG}, \quad \text{ou} \quad \frac{P}{G} = \operatorname{tg} \alpha.$$

L'équilibre pour un mouvement vertical de rotation nous donnerait :

$$P \times h = G \times d, \quad \text{ou} \quad \frac{P}{G} = \frac{d}{h}.$$

Or, il est clair que h et d sont respectivement proportionnels aux projections verticale et horizontale de la plaque.

31. La projection horizontale est égale à $AB \times \sin \alpha$ et la projection verticale à $AB \times \cos \alpha$; nous avons donc :

$$\frac{P}{G} = \frac{d}{h} = \frac{AB \sin \alpha}{AB \cos \alpha}, \quad \text{d'où} \quad \frac{P}{G} = \operatorname{tg} \alpha.$$

Ainsi la pression de vent, qui peut tenir la plaque soulevée de manière à faire avec la verticale un angle α, est égale au poids de la plaque multiplié par la tangente de cet angle α.

32. La pression P a lieu sur une surface S et par suite la pression par mètre serait, pour un angle $\alpha = o$, égale à $\frac{P}{S}$; mais dès que le vent devient de plus en plus fort, c'est-à-dire que l'angle α croît, la pression n'a plus lieu que sur la projection de la plaque de surface S, sur un plan vertical perpendiculaire à la direction du vent et faisant par suite avec la plaque un angle dièdre α. Donc on aurait pour expression de la pression du vent par mètre carré p.

$$p = \frac{P}{S \cos \alpha}.$$

Or $P = G \operatorname{tg} \alpha$. Donc $p = \frac{G \operatorname{tg} \alpha}{S \cos \alpha}$.

33. Le poids G et la surface S de la plaque restant les mêmes pendant toutes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les expériences, voici quelles seraient, pour diverses inclinaisons d'équilibre, la pression par mètre exercée :

ANGLES α.	PRESSION par mètre carré pour $\frac{G}{S} = 1$.	ANGLES α.	PRESSION par mètre carré pour $\frac{G}{S} = 1$.	ANGLES α.	PRESSION par mètre carré pour $\frac{G}{S} = 1$.
0	0.0000	30	0.6667	60	3.4641
5	0.0878	35	0.8548	65	5.0743
10	0.1790	40	1.0954	70	8.0331
15	0.2774	45	1.4142	75	14.4200
20	0.3873	50	1.8540	80	32.6600
25	0.5145	55	2.4899	85	131.1400
				90	infini.

34. Lorsque le vent vient frapper une plaque, il y exerce, comme nous venons de le voir, une pression que l'on peut déterminer expérimentalement, et qui varie avec la vitesse du vent.

Si cette vitesse ne dépasse pas 10 mètres, la pression qui en résulte est donnée assez approximativement par la formule :

$$P = 0.11\ d.\ S^{1.1} \times v^2 \times (\sin i)^{1.84 \cos i}, \qquad (1)$$

dans laquelle P est la pression totale exprimée en kilogrammes,

d le poids d'un mètre cube de l'air en mouvement,
S la surface de la plaque exprimée en mètres carrés,
v la vitesse du vent en mètres par seconde,
i l'angle que fait la direction du vent avec la surface plane de la plaque.

35. Dans les moulins à vent ordinaires, les ailes ont, par rapport à la direction du vent, une inclinaison moyenne i égale à 70 degrés.

En admettant que la pression barométrique soit de $0^m.755$ de mercure et la température moyenne de 11 degrés, on aura $d = 1^{kil}.2500$.

Si, en outre, S est égale à un mètre carré, nous aurons $S^{1.1} = 1$, et, par suite, la formule ci-dessus, appliquée aux moulins à vent ordinaires, sera :

$$P = 0.11 \times 1^k.25 \times v^2 \times (\sin 70^o)^{1.84 \cos 70^o},$$
$$\text{ou } P = 0.1375\ .\ v^2 \times (\sin 70^o)^{0.629317},$$
$$\text{ou } P = 0.1375 \times 0{,}97296\ v^2,$$
$$\text{ou } P = 0.1337856\ v^2. \qquad (2)$$

36. Lorsque le vent agit normalement sur une surface plane, la pression est donnée par la formule :

$$P = 0.11\ d.\ S^{1.1} \times v^2, \qquad (3)$$

qui n'est pas autre chose que la formule (1) dans laquelle on a fait $i = 90^o$; lors $\sin i = 1$ et $\cos i = 0$; d'où $(\sin i)^{1.84 \cos i}$ est égal à 1^o ou à l'unité.

37. Voici quelles seraient les pressions normales par mètre carré pour diverses vitesses de vent :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VITESSES du vent v	NOMS donnés AUX VENTS.	CARACTÈRES physiques DES VENTS.	PRESSIONS en kilogrammes par mètre carré.
1	Zéphir.	A peine sensible.	0.14
2	Brise très-légère . .	Agite les feuilles d'arbres.	0.54
4	Brise.	Donne une sensation de fraîcheur très-faible.	2.20
5	Brise ordinaire. .	Fraîcheur très-sensible.	3.44
6	Bonne brise. . .	Tend les voiles. Très-frais.	4.87
7	Id.	Le meilleur pour moulin.	6.64
8	Forte brise. . . .	Vent si frais qu'il est froid.	8.67
9	Id.	Le meilleur pour navires.	10.97
10	Très-forte brise. .	»	13.54
11	Id.	»	16.64
12	Id.	Force à serrer les voiles.	19.50
15	Vent très-fort. . .	Fait plier les arbres.	30.47
20	Vent impétueux. .	Id.	54.16
24	Tempête.	Enlève les tuiles.	78.00
30	Violente tempête.	Id.	122.28
36	Ouragan.	Déracine les arbres.	176.96
45	Grand ouragan. .	Renverse les murs.	276.00
61	Ouragan extraordinaire.	Renverse tout, des murs de $0^m.46$ d'épaisseur.	511.64

38. La pression, pour une même vitesse de vent, diminue lorsque l'inclinaison du vent sur la plaque diminue, et cette pression finirait par devenir nulle si le vent faisait avec la plaque, un angle nul ou *longeait* cette plaque. C'est une conséquence de la formule (1). Car si l'angle i diminue, son sinus diminue et la puissance $1.84 \cos i$ augmente : c'est donc une fraction d'autant plus petite élevée à une puissance de plus en plus grande, ce qui donne bien une diminution quand i diminue.

39. Voici du reste un tableau donnant la valeur de la pression par mètre carré pour des angles de choc compris entre 90 et $0° —$, la pression normale étant prise pour unité.

ANGLES i.	VALEURS DE LA PRESSION p.	ANGLES i.	VALEURS DE LA PRESSION p.	ANGLES i.	VALEURS DE LA PRESSION p.
90	1.0000	60	0.8760	30	0.3314
85	0.9985	55	0.8095	25	0.2376
80	0.9960	50	0.7301	20	0.1564
75	0.9832	45	0.6366	15	0.0905
70	0.9609	40	0 5368	10	0.0419
65	0.9286	35	0.4217	5	0.0114

40. On voit qu'entre 90 et 70 degrés la pression reste presque constante à 3 p. 100 près; quelle diminue assez rapidement de 65 à 30°, où elle n'est plus que le tiers de la pression normale. Enfin, à 5°, elle n'est plus que d'un pour cent environ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE TROISIÈME.

UTILISATION DE LA PRESSION DU VENT.

§ I. — Divers modes d'utilisation.

41. La pression du vent est utilisée directement par les voiles des navires; on a même fait des voitures à voiles. Mais ces deux applications sortent de nos études actuelles.

42. Lorsque le mouvement à produire est la rotation d'un arbre destiné à commander, par engrenage, un moulin ou toute autre machine rotative, la pression de l'air agit sur des ailes obliques à la direction du mouvement et fixées directement ou indirectement sur l'arbre à faire mouvoir.

Si l'on considère seulement l'axe longitudinal de l'aile et même son centre de gyration, il y a deux dispositions différentes : 1° Les ailes ou mieux leur axe décriront à peu près un plan vertical en tournant autour d'un axe horizontal, c'est le moulin à vent vertical; 2° l'axe des ailes décrira une surface cylindrique verticale ou un plan horizontal en tournant autour d'un arbre vertical, c'est le moulin à vent dit horizontal parce que le centre de giration de l'aile décrit un cercle horizontal.

Nombre d'inventeurs se sont occupés de cette dernière disposition; mais la théorie et la pratique s'accordent pour la rejeter, et ce n'est pas sans de graves raisons.

En effet, l'aile oblique étant supposée d'abord au point A, agit pour faire tourner l'aile suivant la flèche (pl. 275, fig. 6), mais avec un bras de levier nul, c'est-à-dire sans effet; de ce point jusqu'en B le bras de levier de l'aile augmente jusqu'à son maximum le rayon r, puis de là en C le bras de levier diminue de nouveau pour redevenir nul.

Au delà de C en D, si l'aile conservait la même position, l'action du vent tendrait à lui faire rebrousser chemin, et comme elle présenterait dans le demi-cercle CDA, mais absolument à l'inverse, toutes les positions du demi-cercle moteur ABC, le travail d'une aile pour chaque tour serait *nul*. Il faut donc, pour utiliser complétement le vent dans un moulin horizontal, que les ailes s'effacent au vent dans le second demi-cercle; d'où plusieurs inconvénients très-graves :

1° *Complication du moulin*, l'aile devant pivoter sur son axe pour s'effacer plus ou moins.

2° L'aile devant s'effacer plus ou moins, le vent la frappe suivant des inclinaisons croissantes puis décroissantes, d'où il résulte pendant toute la durée de son action des chocs à l'entrée de l'air.

3° Par la même raison, les ailes plus ou moins effacées déplacent plus ou moins l'air devant elles, avec choc.

Ces deux derniers inconvénients montrent que la force du vent serait très-mal utilisée par chaque aile.

4° S'il y a un nombre pair d'ailes, il y a toujours une position à chaque tour où une aile en masque une autre qui ne reçoit plus ainsi, à proprement dire, l'action du vent.

Les seuls avantages de ce genre de moulin sont : la possibilité de les placer au-dessus d'un bâtiment, et de pouvoir faire tourner directement une meule de moulin.

Ce dernier avantage est même problématique, car le nombre de tours que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doit faire une meule est le plus souvent supérieur au nombre de tours que le vent peut faire faire aux ailes.

Ainsi, en résumé, les moulins à vent dits verticaux dont chaque point des ailes décrit une circonférence verticale sont les plus convenables.

1° Toutes les ailes, quel que soit leur nombre, sont fixes par rapport à l'axe de rotation; 2° elles reçoivent le vent constamment suivant l'inclinaison convenable pour éviter les chocs à l'entrée et à la sortie; 3° la force motrice conserve toujours le même bras de levier; 4° toutes les ailes travaillent en même temps sans se gêner, même quand elles sont très-nombreuses.

Les seuls inconvénients sont de masquer le devant du bâtiment qui les porte, et d'exiger une paire d'engrenages pour commander une meule à moudre le blé. Ces inconvénients sont réellement insignifiants.

§ II. — Détermination de la pression motrice sur une aile assujettie à un mouvement de rotation.

43. Soit AB la section transversale de l'aile : le centre M est assujetti à décrire une circonférence de cercle dans un plan normal à l'axe et à la direction du vent supposée toujours parallèle à cet axe. Le seul mouvement possible pour le point M a pour trajectoire la droite YX (projection de la circonférence verticale qu'il décrit) (fig. 4).

Dès que la pression P agit, le plan AB va de M vers X, comme le prouve l'expérience directe, à moins que le plan AB ne fasse un angle droit avec YX ou plus exactement un angle égal à $(90° - \gamma)$.

AB est donc poussé contre l'air qui réagit, suivant la droite MR, faisant avec la normale au plan un angle γ égal à l'angle de frottement de l'air contre la matière du plan AB. Cet angle doit être pris à droite de la normale N, car si l'air résistait indéfiniment, le plan AB descendrait sur le plan *aérien*, si la descente est supposée avoir pour sens BA; ou bien, il monterait si la montée est prise dans ce sens.

Pour équilibrer ces deux forces P et R (qui ne peuvent être directement opposées qu'autant que AB ferait un angle droit avec la direction du vent), il faut une troisième force T égale et directement opposée à la résultante des deux autres; c'est la force motrice T dirigée suivant MX.

Si donc, par le point P, je mène une parallèle à MX jusqu'à la rencontre en R′ de la réaction prolongée, que par R′ je mène une parallèle à la pression jusqu'en T, j'aurai, en MTR′P, le parallélogramme d'équilibre des trois forces R, P et T; la résultante MR′ étant égale et directement opposée à la réaction MR.

Les trois côtés du triangle MR′P sont donc proportionnels aux trois forces en équilibre, et, par suite, nous avons :

$$\frac{PR'}{MP}, \quad \text{ou} \quad \frac{T}{P} = \operatorname{tg}(PMR').$$

L'angle AMP a jusqu'ici été représenté par i. L'angle PMR′ est égal au complément de i moins l'angle γ. Donc :

$$\frac{T}{P} = \operatorname{tg}\Big((90° - i) - \gamma\Big), \quad \text{ou} \quad \frac{T}{P} = \operatorname{tg}\Big(90° - (i + \gamma)\Big) = \cot(i + \gamma)$$

D'où :

$$T = P \times \cot(i + \gamma). \qquad (4)$$

44. Pour discuter les divers cas qui peuvent se présenter, plaçons la figure

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précédente comme si elle avait fait un quart de tour de gauche à droite : l'aile AB est tirée par la force P contre l'air formant un plan résistant supposé inébranlable; ce plan réagit suivant la droite MR, faisant avec la normale MN un angle NMR égal à l'angle de frottement de l'air contre l'ailette AB (fig. 5).

Les deux forces P et R n'étant pas directement opposées ne peuvent être en équilibre; il faut une troisième force, c'est la charge que supporterait l'aile AB lorsque le mouvement virtuel d'ascension serait uniforme. Cette force MT, verticale ici, sera déterminée si l'on mène par P une verticale PR′ jusqu'à la rencontre en R′ de la réaction MR prolongée; puis de R′ une parallèle à P. Et, comme l'angle PMR′ est égal à PMN′ (complément de i) diminué de l'angle de frottement, nous avons :

$$\frac{PR'}{MP} = \text{tg}\,(90^\circ - i - \gamma), \quad \text{ou} \quad \frac{T}{P} = \cot\,(i + \gamma),$$

comme nous l'avons déjà déterminé.

Ainsi, lorsqu'on suppose que l'aile a pour mouvement virtuel un mouvement d'ascension sur l'air qui résiste comme plan incliné, et que ce mouvement a pour force motrice P, la force T que peut soulever l'aile est donnée par la formule

$$T = P \times \cot\,(i + \gamma). \qquad (4)$$

Tant que l'angle i sera assez petit, T sera positif; mais quand i croît à un point tel que $i + \gamma = 90^\circ$, on a $T = o$, car $\cot 90^\circ = 0$.

C'est-à-dire qu'il y a une inclinaison de l'aile sur la direction du vent, pour laquelle il n'y a aucune force T disponible, quelle que soit la force du vent. Cette force T serait la force accélératrice du mouvement circulaire si le moulin marchait à vide. C'est la force motrice lorsque le mouvement est uniforme, c'est-à-dire lorsque le moulin doit vaincre un effort égal à T, et de même direction.

Nous ne connaissons pas l'angle de frottement γ de l'air contre les matières diverses dont on peut faire les ailes, mais il est probablement fort petit. On peut donc dire que plus l'inclinaison de l'aile approche de 90° par rapport à la direction du vent, plus la force accélératrice T diminue, et qu'elle devient nulle pour un angle i un peu moindre que 90 degrés.

45. *Discussion de l'équation* (4). D'après l'équation de la pression (1), lorsque l'angle i diminue, cette pression diminue et, au contraire, $\cot\,(i + \gamma)$ augmente. La valeur de la force motrice T est donc le produit de deux facteurs dont l'un augmente quand l'autre diminue. D'autre part, si i est nul, la pression est tout à fait nulle, et si $i + \gamma$ est égal à 90 degrés, $\cot\,(i + \gamma)$ est nulle. Donc, entre ces deux extrêmes valeurs de i, le produit aura un maximum.

En mettant dans la formule (4), au lieu de P, sa valeur tirée de l'équation (1) pour un mètre carré, nous aurons :

$$T = 0.11\ d.\ v^2 \times (\sin i)^{1.84 \cos i} \times \cot\,(i + \gamma). \qquad (5)$$

Pour une température donnée de l'air et une vitesse particulière du vent, d et v sont constants : i seul peut être variable et, en négligeant γ, probablement fort petit; prenant $d = 1^{kil}.25$ poids de l'air à la pression 0.755 et à 11° au-dessus de 0, nous aurons :

$$T = 0.1375 \times (\sin i)^{1.84 \cos i} \times \cot i \times v^2. \qquad (6)$$

Or, lorsque i diminue, *sin* i diminue et cos i augmente; le premier facteur variable est donc une fraction plus petite élevée à une plus haute puissance :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donc, quand i diminue ce premier facteur diminue. Au contraire, le second facteur variable *cot* i augmente quand i diminue : il y a donc un maximum, c'est lorsque $\sin i^{1.84 \cos i} \times \cot i$ est maximum.

46. Voici du reste un tableau des valeurs du produit des deux facteurs variables de l'équation (6) pour des angles i compris entre 90° et 0.

VALEURS successives de l'angle i.	VALEUR DU FACTEUR		VALEUR du produit des deux facteurs variables.	OBSERVATIONS.
	$(\sin i)^{1.84 \cos i}$.	cot i.		
degrés.				
90	1.00000	0.000000	0.000000	
85	0.99939	0.087489	0.087435	
80	0.99512	0.176330	0.175470	
75	0.98324	0.26795	0.26358	
70	0.96165	0.36397	0.35001	
65	0.9264	0.46631	0.43201	
60	0.87605	0.57735	0.50578	
55	0.80986	0.70021	0.56737	
50	0.72908	0.8391	0.61177	
45	0.63731	1.00000	0.63731	
40	0.53642	1.19175	0.63928	
35	0.43272	1.42815	0.61793	
30	0.33141	1.7362	0.57402	
25	0.23785	2.1445	0.51008	
20	0.15642	2.7475	0.42976	
15	0.09513	3.7320	0.33780	
10	0.041902	5.6713	0.23819	
5	0.011417	11.430	0.13050	
0	0.000000	∞	0.00000	
Variations plus proches pour déterminer le maximum.				
44°	0.61714	1.0355	0.63907	
43.30	0.60745	1.0538	0.64012	
43.00	0.59804	1.0724	0.64132	
42.30	0.58743	1.0911	0.64111	
42.00	0.57728	1.1106	0.64114	
41.30	0.56721	1.1303	0.64112	
41.00	0.55695	1.1504	0.64070	
42.15	0.582365	1.1009	0.64113	
42.45	0.591800	1.0831	0.64095	

Comme on le voit, le maximum aura lieu pour un angle d'environ 42 degrés fait par le plan mobile avec la direction du vent.

Mais comme nous avons négligé l'angle γ de frottement qui devait s'ajouter à i dans le second facteur variable, il s'ensuit que tous les chiffres de la troisième colonne sont les cotangentes d'angles trop petits d'une quantité constante γ. Donc tous les nombres de la troisième colonne sont un peu trop grands.

Le maximum aurait donc lieu pour un angle plus petit que 42 degrés, mais très-peu différent, et il serait un peu plus faible que 0.1375×0.64114.

47. La valeur de T serait, pour le maximum, $0.1375 \times 0.64114\, v^2 = 0.08818\, v^2$. La différence entre cette valeur et celle que donnent les formes et les conditions des moulins à vent ordinaires ($0.048125 v^2$ environ) est assez importante.

48. Mais en réalité en ne négligeant pas l'angle de frottement γ, le maximum

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

serait moindre que $0{,}08818\,v^2$; la différence ne serait donc pas tout à fait aussi grande qu'elle paraît ici.

49. Le tableau précédent montre du reste (4e colonne) qu'entre 50 et 35 degrés la valeur du produit est presque constante, à 4 p. 100 près;

Et qu'entre 45 et 40 degrés, elle ne diffère du maximum que de 6 pour mille; ce qui est évidemment insignifiant.

§ III. Forme des ailes.

50. Nous venons de déterminer la force motrice disponible sur le centre d'un plan oblique assujetti à tourner et frappé par le vent. Nous devons maintenant chercher quelle doit être la forme de l'aile depuis le centre jusqu'à l'extrémité.

L'air arrive en contact avec chaque point de l'aile avec une même vitesse, tandis que la vitesse de ces points croît depuis le centre jusqu'à la circonférence; le choc du vent contre l'aile varierait donc, et pour les parties excentriques il aurait une très-grande importance.

51. Cette observation fait prévoir que l'aile ne peut avoir la même inclinaison sur toute sa longueur, et nous allons voir que cette inclinaison de l'aile sur le plan du mouvement (perpendiculaire à l'axe de rotation et à la direction du vent) doit aller en diminuant du centre à la circonférence.

52. Pour utiliser le mieux possible la puissance vive de l'air en mouvement, il faut que l'air presse sans choc contre les ailes; et il suffit pour atteindre ce but de donner à chaque élément de l'aile la direction de la vitesse relative des ailes et du vent au point considéré.

53. Soit donc (fig. 4, pl. 254) v la direction du vent, et XY la projection du plan vertical que décrit le centre de l'aile.

La vitesse de rotation de ce point est V, dirigée suivant la droite XY perpendiculaire à la direction du vent.

Nous avons donc en M deux points : l'un, centre de l'aile, a une vitesse V; l'autre, molécule d'air, a une vitesse v. Pour avoir le mouvement relatif de ces deux points, celui de la molécule d'air par rapport au centre de l'aile, par exemple, j'applique à ces deux points une même vitesse — V : il en résulte que, sans rien changer au mouvement relatif, le point M de l'air est animé de deux vitesses égales et directement opposées, il est donc en repos; tandis que le point M de l'air en mouvement a deux vitesses, sa vitesse propre v et la vitesse d'entraînement — V. Sa vitesse réelle est donc MR, diagonale du parallélogramme fait avec les deux vitesses normales comme côtes.

54. Si l'élément de l'aile a la direction MR, tout se passera comme si l'aile était immobile, et que l'air coule le long de MR : il n'y aurait donc aucun choc sur chacune des deux faces d'une aile.

Ainsi l'angle que doit faire l'aile avec le vent, pour qu'il n'y ait pas de choc, est égal à RMV, et nous avons $\frac{MV}{RV} = \operatorname{tg} MRV$, ou $\cot i$.

55. La vitesse V au centre de rotation est nulle et va croissant du centre à la circonférence, limite extrême des ailes, où elle est maximum et égale à un certain nombre de fois la vitesse du vent ou à $n.\ v$, à l'extrémité de l'aile de rayon r, $\cot i$;

ou
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{n.\ v} = \frac{1}{n}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en un point quelconque de l'aile distant du centre de $k.r$, k étant une fraction, nous aurions :

$$V = \frac{nv \times k.r}{r}, \quad \text{d'où} \quad V = k.n.v., \text{ et par suite } \operatorname{tg}\alpha = \frac{v}{k.n.v} = \frac{1}{kn}.$$

56. Soit, par exemple, $n = 2.435$, c'est-à-dire que nous supposons que l'extrémité de l'aile a une vitesse égale à 2.435 fois la vitesse du vent; nous aurons pour valeur des inclinaisons de l'aile, de la circonférence au centre, les nombres du tableau suivant (4e colonne) :

VALEURS de kn, en douzièmes.	VALEUR de la vitesse circulaire aux divers points de l'aile, en douzièmes de la vitesse du vent.	VALEUR de la tangente de l'angle de la génératrice avec le plan de rotation, ou tg α.	VALEUR de l'angle α. Complément de i.	ACCROISSEMENT de la valeur de l'angle, par douzièmes de la longueur de l'aile.
12	12 × 2.435 v	1 : 2.435	22° 19′ 40″	»
11	11 × 2.435 v	1 : 2.23208	24 08 00	1° 48′ 20″
10	10 × 2.435 v	1 : 2.029166	26 14 10	2 06 10
9	9 × 2.435 v	1 : 1.82625	28 42 10	2 28 00
8	8 × 2.435 v	1 : 1.62333	31 38 00	2 55 50
7	7 × 2.435 v	1 : 1.4204166	35 08 50	3 30 50
6	6 × 2.435 v	1 : 1.2175	39 23 50	4 15 00
5	5 × 2.435 v	1 : 1.014583	44 39 00	5 15 10
4	4 × 2.435 v	1 : 0.811666	50 57 20	6 18 20
3	3 × 2.435 v	1 : 0.60875	58 40 10	7 42 50
2	2 × 2.435 v	1 : 0.405833	67 54 40	9 14 30
1	1 × 2.435 v	1 : 0.2029166	78 31 40	10 37 00
0	0 × 2.435 v	1 : 0.00000	90 00 00	13 41 05

57. La surface choquée des ailes doit donc être une surface réglée dont les génératrices forment avec le plan de rotation des angles croissant depuis l'extrémité des ailes jusqu'au centre de rotation, et croissant plus vite que les distances entre les génératrices.

Chaque élément de l'aile ne peut donc avoir l'inclinaison qui donnerait le maximum de travail moteur, c'est-à-dire un peu moins de 42 degrés.

58. Si, pour approcher le plus possible du maximum d'effet utile, on augmentait un peu les inclinaisons déterminées dans le n° 56, il en résulterait que les ailes présenteraient leur face d'arrière suivant une inclinaison telle qu'il y aurait choc de la voile contre l'air, et, par suite, une résistance naturelle à vaincre qui compenserait l'avantage obtenu par l'augmentation d'inclinaison, outre qu'il y aurait aussi choc de l'air entrant sur les ailes.

59. Ne pouvant calculer exactement l'influence du choc de l'air sur l'avant des ailes, et celui du dos des ailes sur l'air, nous ne pouvons pas davantage déterminer la meilleure inclinaison des ailes *à priori*.

60. La pratique donne, il est vrai, quelques indications; nous verrons plus tard, par exemple, que, d'après la forme des moulins des environs de Lille, l'inclinaison moyenne des ailes serait de 20 degrés, et, d'après Smeaton, elle devrait être de 16 au plus, ou varier de 7 à 19 degrés.

Les chiffres qui nous paraissent les meilleurs sont empruntés aux grands moulins hollandais. Les constructeurs de ce pays ont une expérience traditionnelle toute particulière; car, en Hollande, grâce à la constance du vent, les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moulins à vent sont fort nombreux. Un voyageur français, au commencement de ce siècle, a pu en compter *quinze cents* visibles du seul clocher de Saardam.

Or, dans les grands moulins hollandais, la génératrice la plus près de l'axe (elle est au huitième de la longueur totale du bras) fait avec le plan vertical de rotation un angle de 23 degrés et la dernière 5 degrés seulement.

61. Il semble donc que les chiffres théoriques du n° 50 sont notablement trop élevés; mais nous croyons que les constructeurs ont fait la surface *aussi peu gauche que possible* pour rendre la construction plus facile, et qu'à ce point de vue il ne faudrait pas les suivre de trop près et trop servilement; il en a été de même pour les anciennes charrues : le versoir était à peine gauche, et ce n'est que depuis peu que la pratique, d'accord avec la théorie, lui donne une forme hélicoïdale particulière bien caractérisée.

§ IV. Résistance qu'éprouvent les ailes en tournant dans l'air.

62. Si, au lieu d'être dirigée suivant la vitesse relative du vent et de l'aile, cette dernière a une inclinaison moindre avec son plan de rotation, il y a choc et par suite perte d'une portion de la vitesse disponible.

Soit, par exemple, une moyenne inclinaison de 70 degrés au lieu de 42 : nous aurons pour valeur de la force réellement utilisée, d'après le tableau du n° 46, les 546 millièmes seulement de la force qui serait utilisée avec l'angle qui supprime le choc. C'est une perte de 45.4 p. 100.

63. Pour concilier autant que possible les conditions contradictoires du maximum de force disponible et du minimum de choc à l'entrée, il faudrait chercher quelle est la série d'inclinaisons successives qui donnerait la plus forte somme de force disponible en supposant l'aile composée d'une dizaine de plans d'inclinaisons croissant de l'extérieur vers le centre.

64. Prenons les inclinaisons théoriques du tableau (n° 56), et calculons à l'aide de la formule (6),

$$T = 0.1375 \times (\sin i)^{1,84 \cos i} \times \cot i \times v^2 ,$$

les valeurs de T pour les dix premières inclinaisons du tableau (n° 56); nous aurons :

INCLINAISONS DES DIVERSES GÉNÉRATRICES.	VALEUR DU PRODUIT $(\sin i)^{1.84 \cos i} \times \cot i$.
67° 40′ 20″	0.38
65 52 00	0.42
63 45 50	0.46
61 17 50	0.49
58 22 00	0.52
54 51 10	0.57
50 36 10	0.62
45 21 00	0.64
39 02 40	0.63
31 19 50	0.59
22 05 20	0.46

65. La moyenne des nombres de la seconde colonne est 0.535, c'est-à-dire que l'on aurait pour une aile ainsi faite gauche, avec dix bandes d'inclinaisons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyennes comprises entre 67° 40′ 20″, et 22° 05′ 20″, une moyenne force motrice par dixième d'aile égale à

$$T = 0.1375 \times 0.535 \times v^2 = 0.07356\, v^2.$$

Cette aile gauche équivaudrait à un seul plan incliné de 57° 30′ environ, tandis que la moyenne inclinaison des génératrices est de 51° 32′ 8″.

On approcherait d'autant plus du maximum que les inclinaisons donneraient pour le plan moyen idéal une inclinaison plus proche de 42°.

A ce point de vue, l'aile ci-dessus, la mieux faite pour éviter le choc par devant et par derrière, est à trop forte inclinaison pour donner la plus grande force motrice.

On pourrait par tâtonnement déterminer cette meilleure courbure des ailes.

Les inclinaisons des génératrices de la surface gauche des ailes dépendent, comme nous l'avons vu, du rapport supposé entre la vitesse du bout de l'aile et celle du vent. Quand un moulin est en charge et réussit mieux, la première vitesse est égale à 2.435, celle du vent. Si le moulin marche à vide, la vitesse du bout des ailes peut être égale à quatre fois celle du vent. Dans ce cas, nous aurions :

VALEURS de kn, en douzièmes.	VALEUR de la vitesse circulaire aux divers points de l'aile, en douzièmes de la vitesse du vent.	VALEUR de la tangente de l'angle que fait la génératrice avec le plan de rotation, ou tg α.	VALEUR de l'angle α. Complément de i.	ACCROISSEMENT de la valeur de l'angle, par douzièmes de la longueur du rayon.
12	$12 \times 4\ v$	1 : 4.00000	14° 02′ 10″	»
11	$11 \times 4\ v$	1 : 3.66667	15 15 20	1° 13′ 10″
10	$10 \times 4\ v$	1 : 3.33333	16 42 00	1 26 40
9	$9 \times 4\ v$	1 : 3.00000	18 26 10	1 44 10
8	$8 \times 4\ v$	1 : 2.66666	20 33 20	2 07 10
7	$7 \times 4\ v$	1 : 2.33333	23 12 00	2 38 40
6	$6 \times 4\ v$	1 : 2.00000	26 33 50	3 21 50
5	$5 \times 4\ v$	1 : 1.66666	30 57 50	4 24 00
4	$4 \times 4\ v$	1 : 1.33333	36 52 10	5 54 20
3	$3 \times 4\ v$	1 : 1.00000	45 00 00	8 07 50
2	$2 \times 4\ v$	1 : 0.66666	56 18 40	11 18 40
1	$1 \times 4\ v$	1 : 0.33333	71 34 00	14 15 20
0	$0 \times 4\ v$	1 : 0.00000	90 00 00	18 26 00

CHAPITRE QUATRIÈME.

DÉTERMINATION DU TRAVAIL MOTEUR DISPONIBLE SUR UNE AILE DE MOULIN.

§ 1. Du travail théorique moteur.

66. Nous connaissons la pression motrice disponible en chaque point d'une aile, depuis le centre jusqu'à la circonférence. Pour trouver le travail moteur, il suffira de multiplier la force en chaque point par la vitesse propre à ce point d'après son éloignement du centre.

67. Soit, par exemple, la forme d'aile dont les inclinaisons rationnelles sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

indiquées dans la première colonne du tableau n° 64, soit aussi l'aile divisée en dix bandes égales de chacune deux mètres, on aura :

		Force moyenne.	
1re bande extérieure..	$2^{m2} \times 0.1375$	$\times 0.40\ v^2$	$\times 2.333\ v = 0.260\ v^3$
2e —	—	$\times 0.44\ v^2$	$\times 2.131\ v = 0.258\ v^3$
3e —	—	$\times 0.475\ v^2$	$\times 1.927\ v = 0.250\ v^3$
4e —	—	$\times 0.505\ v^2$	$\times 1.724\ v = 0.238\ v^3$
5e —	—	$\times 0.545\ v^2$	$\times 1.521\ v = 0.228\ v^3$
6e —	—	$\times 0.595\ v^2$	$\times 1.318\ v = 0.217\ v^3$
7e —	—	$\times 0.63\ v^2$	$\times 1.115\ v = 0.196\ v^3$
8e —	—	$\times 0.635\ v^2$	$\times 0.913\ v = 0.160\ v^3$
9e —	—	$\times 0.61\ v^2$	$\times 0.710\ v = 0.117\ v^3$
10e —	—	$\times 0.525\ v^2$	$\times 0.548\ v = 0.078\ v^3$
Travail total ou pour 20 mètres carrés.....			2.002
soit par mètre moyen.....			$0.1001\ v^3$.

68. On voit que le travail par bande perpendiculaire au rayon est, à surface égale, décroissant, depuis l'extrémité du rayon jusqu'au centre, où il serait nul. C'est pourquoi on ne fait guère commencer les ailes qu'au sixième du rayon, et même pour laisser un large passage à l'air, on fait les ailes plus étroites vers le centre qu'à l'extrémité opposée.

§ II. Du travail résistant.

69. Le choc de l'air sur la face travaillante d'une aile mal faite et le choc de cet aile sur l'air affluent ne sont pas les seules causes de déperdition de l'effort moteur du vent. L'ensemble des ailes et de l'arbre qui les porte repose sur des coussinets, et la pression considérable qui a lieu y détermine, dès que le mouvement de rotation commence, un frottement de glissement assez important. L'air en pressant contre les ailes, pousse par suite les collets de l'arbre contre les faces verticales des coussinets et occasionne ainsi un autre frottement de glissement d'une grande importance, qui ne peut être calculé *à priori* que lorsqu'on connaît le poids de la *volée entiere*, la surface des ailes, la pression du vent, et enfin le diamètre des coussinets et des collets de l'arbre.

70. Lorsque, du travail moteur théorique, on retranche le travail résistant du choc de l'air et des ailes, et celui des frottements de l'arbre, il reste ce que nous appelons *travail moteur disponible* sur l'arbre du moulin.

Il peut être dépensé pour faire marcher une pompe par une simple manivelle, ou à l'aide d'une paire d'engrenages coniques pour actionner une ou plusieures paires de meules.

CHAPITRE CINQUIÈME.

EXPÉRIENCES DE COULOMB ET SMEATON.

§ 1. — Détermination du travail disponible d'un moulin.

71. *Coulomb* a fait, sur des moulins à vent ordinaires à quatre ailes, quelques expériences qui peuvent jeter un peu de jour sur l'application des considérations précédentes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les moulins essayés ont des ailes de 10 à 12 mètres de rayon.

L'arbre a de 50 à 60 centimètres d'équarissage et il est incliné de 10 à 15 degrés sur l'horizon, de sorte que l'extrémité des ailes passe à une certaine distance du pied de la tour servant de support à tout le mécanisme.

Les bras portant les ailes ont environ 30 centimètres d'équarissage à leur origine, et diminuent de grosseur jusqu'à leur extrémité.

Les bâtons qui supportent les voiles sont placés à $0^{m}.40$ l'un de l'autre, et le premier est à 2 mètres de l'axe de rotation.

La longueur des voiles était exactement de 10 mètres sur $1^{m}.95$ de large, soit $19^{mc}.5$ par aile.

Les bâtons ont, à partir de l'extrémité, une inclinaison de plus en plus grande sur le plan du mouvement du centre de l'aile. Le premier est incliné de 7 à 10 degrés, et le dernier (le plus près du centre) est incliné de 29 à 30 degrés : de façon que l'inclinaison en moyenne est d'environ 20 degrés.

72. Dans la première expérience, la vitesse de l'air est de $2^{m}.27$ par seconde; la surface des voiles de 78 mètres carrés et la vitesse angulaire (celle d'un point situé à 1 mètre de l'axe) de $0^{m}.310$. — L'angle i est le complément de l'angle que fait l'aile avec le plan, ou $90 - 20 = 70^{0} = i$.

La formule 6 nous donne, pour valeur de la force motrice par mètre carré :

$$T = 0.1375 \times (\sin 70^{0})^{1.84 \cos 70} \times \text{cot. } 70^{0} \times v^{2}$$

ou $$T = 0.1375 \times 0.96163. \times 0,36397 \quad v^{2}$$

ou $$T = 0.1375 \times 0.3500055 \times v^{2}$$

ou $$T = 0.048\,125\,74. \times v^{2} \qquad (8).$$

Le travail moteur est égal au produit de la force T, par le chemin que parcourt le centre de l'aile. Soit V la vitesse du centre de l'aile, nous aurons pour le travail moteur par mètre carré et par seconde $T \times V$.

Or, puisque la vitesse angulaire est de $0^{m},31$ et que le centre de l'aile est à 7 mètres du centre de rotation, nous avons :

$$V = 0^{m}.31 \times 7^{m} = 2^{m}.17, \text{ ou comme } v = 2.27. \quad V = 0.955\,94 \times v.$$

Le travail moteur par mètre et par seconde est donc égal à

$$0.048\,125\,74 \times 0.955\,94. \times v^{3} = 0.04600\,532\,v^{3}.$$

En procédant de la même manière pour les quatre autres expériences, on aurait le travail moteur théorique dans chacune d'elles. On trouvera ces chiffres dans le tableau ci-après :

En supposant que les inclinaisons des bâtons extrêmes de l'aile soient de 10 degrés et 30 degrés sur le plan de rotation, nous aurons en réalité pour valeurs intermédiaires de a (complément de i) :

10°	00′	00″	13°	13′	47″	19°	23′	30″	35°	11′	45″	90° 00′ 00″.
10	53	17	14	48	50	22	56	15	46	36	50	
11	56	50	16	49	10	27	52	42	64	42	15	

ce qui suppose que la vitesse du bout des ailes est égale à 5.671 28 fois celle du vent.

Ou, si l'on part de l'angle 30°, 6 fois 930016 :

8°	12′	40″	10°	53′	27″	16°	05′	53′	30°	00′	00″	90° 00′ 00″
8	56	45	12	12	47	19	06	07	40	53	10	
9	49	25	13	53	39	23	24	28	59	59	38	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si nous calculons la force T en chaque section pour les angles moyens, nous aurons :

ANGLES α calculés.	MOYENS.	ANGLE i complément de α.	VALEUR du produit $(\sin i)^{1.84} \cos i \cot i$.	VITESSE aux diverses génératrices.	VITESSE au milieu des bandes d'un mètre.	VALEUR du travail moteur par bande.
9 06 20	»	»	»	$6.9300\ v$	»	»
9 54 00	9 30 10	80 29 50	0.16677	6.3525	$6.61125\ v$	$0.30489\ v^3$
10 53 00	10 23 00	79 37 00	0.18282	5.7750	6.06375	0.30476
12 07 00	11 30 00	78 30 00	0.20182	5.1975	5.48625	0.30464
13 30 48	12 49 00	77 11 00	0.22518	4.6200	4.90875	0.30397
11 51 00	14 10 51	75 49 06	0.24927	4.0425	4.33125	0.30301
17 46 00	16 18 00	73 42 00	0.28627	3.4650	3.75375	0.30072
21 01 00	19 23 30	70 36 30	0.33970	2.8875	3.17625	0.29672
25 38 30	23 19 15	66 40 15	0.10526	2.3100	2.59875	0.28912
32 36 00	29 7 15	60 52 45	0.19310	1.7325	2.02125	0.27409
13 45 00	38 10 30	51 49 30	0.60079	1.1550	1.44375	0.23853
				Soit en tout, par 20 mètres carrés.....		$2.92018\ v^3$
				Ou, en moyenne, par mètre carré.....		$0.146024\ v^3$

Toutes les fois que l'on pourra faire tourner le moulin avec une rapidité telle qu'à l'extrémité des ailes la vitesse soit 6.93 fois celle du vent, le travail moteur théorique sera $0,146\ v^3$. Mais il faudrait en déduire le travail du choc des ailes, si la vitesse précédente ne pouvait être atteinte, ce qui est plus que probable, puisque d'après Smeaton le moulin à vide ne peut prendre qu'une vitesse égale à 4 fois celle du vent.

Nous essayerons de faire ces rectifications en discutant les essais de Coulomb.

73. Le poids du moulin fait naître un frottement de glissement dans les coussinets ou supports. Cette résistance est complexe : le frottement de glissement ayant lieu aussi contre les portées des supports, puisque la pression du vent contre les ailes pousse l'arbre contre les faces verticales des coussinets.

La pression croissant avec le carré de la vitesse, une partie de cette résistance croît de même ; l'autre portion due au poids seul de la volée est à peu près constante pour chaque tour de moulin. Mais comme le nombre de tours est, à très-peu près, proportionnel à la vitesse du vent, il en résulte que le travail résistant des frottements est presque proportionnel au cube de la vitesse du vent.

74. Le tableau, page suivante, résume les calculs des cinq expériences de Coulomb.

75. Dans la deuxième expérience, le moulin marchait à vide : il prenait une vitesse trop grande pour donner un bon effet utile. Dans la première, c'était le contraire : le moulin trop chargé ne pouvait prendre une vitesse convenable, c'est-à-dire un peu grande ; mais les chiffres de cet essai étant douteux, nous ne pouvons appuyer une discussion sur le fort rendement, qui est probablement une erreur. Toutefois il est visible qu'il se rapproche de l'observation basée sur les chiffres de l'avant-dernier tableau.

Ainsi les trois dernières expériences qui, du reste, ont été faites avec les meilleures vitesses pour la marche des moulins à vent, peuvent seules être discutées avec fruit.

76. Or, il est visible que le *rendement* pratique va en décroissant lorsque la vitesse augmente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VITESSE du VENT.	VITESSE DE L'EXTRÉMITÉ DES AILES. Mesurée.	VITESSE DE L'EXTRÉMITÉ DES AILES. Théorique, donnant le maximum d'effet utile ($V = 2.45\ v$).	RAPPORT RÉEL entre la vitesse du bout des ailes et celle du vent.	TRAVAIL MOTEUR calculé par mètre carré d'ailes d'après les vitesses obtenues en essais.	TRAVAIL RÉSISTANT d'après l'expérience par seconde et par mètre carré.	TRAVAIL UTILE mesuré dans l'expérience par mètre carré d'ailes.	EFFET UTILE ou rapport entre le travail utile et le travail moteur.	OBSERVATIONS.
2.27	3.720	5.581	1.61	$0.01600\ v^3$	$0.00560\ v^3$	$0.04010\ v^3$	0.878	Chiffres douteux.
2.27	6.912	5.581	3.01	0.08526	0.06107	0.02400	0.281	78 mètres carrés d'ailes.
4.05	9.120	9.963	2.33	0.06590	0.03667	0.03133	0.528	Id.
6.50	16.320	15.980	2.51	0.07280	0.04093	0.03187	0.437	Id.
9.10	21.460	22.386	2.11	0.06756	0.01786	0.01990	0.294	64 m² d'ailes seulement.

77. Toutefois, il est à supposer que le rendement dépend beaucoup du rapport que l'on conserve entre la vitesse de l'extrémité des ailes et la vitesse du vent. Il faudrait donc faire varier le travail utile ou la surface des voiles, c'est-à-dire le travail moteur, de façon à conserver toujours le rapport le plus convenable.

Malheureusement, cela n'est pas toujours possible : la mouture, par exemple, exige que l'on ne s'écarte pas trop d'un certain nombre de tours de meules.

Pour tout ménager, il faudrait donc avoir une commande de meules à vitesse variable, c'est-à-dire des paires d'engrenages de rechange, toutes placées et embrayées à volonté, ou des paires de meules de divers diamètres pour proportionner le travail résistant au travail moteur.

78. Smeaton a déduit d'expériences faites en poussant, avec une vitesse connue et en chemin circulaire, un petit moulin à vent, que les génératrices de la surface des ailes doivent faire avec le plan du mouvement les angles suivants :

A l'extrémité de l'aile.....		7°
Aux cinq sixièmes du rayon.		12.30
Aux quatre sixièmes	—	16.00
Aux trois sixièmes	—	18.00
Aux deux sixièmes	—	19.00
Au sixième	—	18.00

Que, du reste, une différence de quelques degrés en plus ou en moins a peu d'effet.

Que la largeur de l'aile doit être moindre que le quart de la longueur, soit le cinquième ou le sixième ; si, comme cela nous semble devoir être, on fait l'aile trapézoïdale, la largeur du côté du centre est de 1/5, et la largeur à l'autre extrémité, de 1/3.

Nous avons fait remarquer à la fin du n° 72, que si l'aile ne peut prendre la vitesse nécessaire pour que l'air entre sans choc, il y a perte de force motrice par le choc.

La résistance R qu'éprouve un plan incliné d'un angle α sur le plan de rotation peut être déterminée par la formule suivante :

$$R = 0.062\ k.\ A.\ V^2 \times \frac{2.\sin^2\alpha}{1+\sin^2\alpha},$$

dans laquelle A est la surface réelle du plan, V sa vitesse et k un coefficient pratique qui, d'après le petit nombre d'expériences que nous connaissons, serait égal à 1.8.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	VITESSE du VENT.	VITESSE réelle DU BOUT DE L'AILE.	VITESSE qu'elle devait avoir POUR ÉVITER LE CHOC.	TRAVAIL résistant AU CHOC.	TRAVAIL résistant AUTRE QUE LE CHOC.	TRAVAIL utilisé MESURÉ.	TRAVAIL moteur CALCULÉ.
1er essai.....	2.27	3.720	12.87	0,0161 v^3	négatif 0,0105 v^3	0,01040 v^3	0,0160 v^3
2e essai.....	2.27	6.912	12.87	0,0016	positif 0,05966	0,02400	0,08526
3e essai.....	4.05	9.420	22.96	0,01312	Id. 0,01755	0,03433	0,0650
4e essai.....	6.50	16.320	36.85	0,00586	Id. 0,03507	0,03187	0,0728
5e essai.....	9.10	21,960	51.60	0,0153	Id. 0,03236	0,01990	0,06756

Si nous calculons cette résistance pour les essais de Coulomb, en tenant compte de la vitesse relative de l'aile qui frappe et de l'air qui fuit normalement, nous aurons, pour valeur du travail résistant du choc sur les deux faces, les chiffres de la 5e colonne du tableau ci-contre.

On voit donc que dans ces moulins à vent ordinaires (les trois derniers essais étant considérés seuls), le rendement en effet utile est :

0.528154 pour $v = 4.05$,
ou, si l'inclinaison est 76°.30.... 0.338
0.437774 — 6.50,
ou, si l'inclinaison est 76°.30.... 0.292
0.294553 — 9.10,
ou, si l'inclinaison est 76°.30.... 0.190

c'est-à-dire qu'en appelant Tu le travail utile mesuré, et Tm le travail moteur calculé, on aurait à peu près

$$\frac{Tu}{Tm} = 0.30722 + 0.024\ v - 0.00405\ v^2$$

pour i égal à 76°.30 en moyenne ; l'effet utile décroît donc quand la vitesse du vent augmente.

Le travail du choc est en moyenne d'un peu plus du neuvième du travail moteur calculé.

Les calculs du tableau du n° 74 supposent une moyenne inclinaison de 20 degrés. En réalité il eût fallu prendre un angle de 76°.30, ce qui nous eut donné :

	Travail moteur calculé.	
1er essai.	0.07132 v^3 ou 1.55	du chiffre du tableau ci-dessus.
2 —	0.13221 v^3 — 1.55	—
3 —	0.16156 v^3 — 1.562	—
4 —	0.10915 v^3 — 1.500	—
5 —	0.10481 v^3 — 1.551	—

c'est-à-dire à peu près moitié en plus des chiffres que nous avons indiqués ci-dessus, dans l'hypothèse que les ailes avaient une inclinaison moyenne de 70 degrés seulement.

Ainsi, en faisant l'aile moins gauche, on obtient à égalité de vitesse réelle un plus fort travail moteur calculé ; mais le choc perd environ 12 pour 100 de ce travail moteur, et les frottements du pivot sont eux-mêmes plus forts.

Tandis qu'en faisant l'aile assez gauche pour éviter le choc, on ne perd rien par le choc des ailes, mais on a moins de travail moteur calculé à égalité de vitesse. Il y a donc une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

raison pour se tenir entre l'aile très-gauche, sans choc, et l'aile peu gauche à choc.

Trois expériences citées par M. Benoît peuvent donner une idée approximative de la force des moulins à vent. Elles ont été faites sur un moulin dont la surface des ailes peut être estimée à 90 mètres, et l'inclinaison moyenne à 13°, 30'.

1° Pour une vitesse de vent de $9^{m}.1$, le moulin faisait vingt-deux tours par minute et la meule 110; le produit en blé simplement moulu était de 900 kilog. par heure.

En admettant qu'il faille de 5,000 à 6,000 kilogrammètres par kilog. de blé simplement moulu, ce serait donc par heure, de 4,500,000 à 5,400,000 kilogrammètres, soit par seconde de 1250 à 1500 kilogrammètres pour 90 mètres carrés d'ailes, ou par mètre carré $13^{kg}.888$ à 16.6666. Or théoriquement ce devrait être $0.10481\ v^3$ ou $0.10481 \times \overline{9.1}^3$, ou enfin $753^{k}.371 \times 0.1841 = 78^{k}.982$.

Le rendement ne serait donc que de 20 pour 100 au plus du travail moteur théorique.

2° Pour une vitesse de vent de $5^{m}.85$, le moulin faisait onze à douze tours par minute, et les meules donnaient 400 à 500 kil. de blé moulu par heure; à raison de 5,000 à 6,000 kilogrammètres par kilog. de blé moulu; ce serait 2,000,000 à 2,250,000 KGM par heure, ou par seconde $555^{KGM}.555$ à 625 KGM pour 90 mètres carrés, ou par mètre carré 6.1728 à 6.944 KGM.

Le travail moteur théorique est égal à $0.10535 \times \overline{5.85}^3$, ou 21.0914.

Le rendement est donc, en ce cas, de 0.2927 à 0.3293, ou, en moyenne, 0.311, tandis que dans les expériences de Coulomb nous aurons 30 pour 100. L'accord est donc aussi parfait qu'on peut le désirer.

Ainsi, on peut admettre que le rendement ou effet utile d'un moulin à vent ordinaire à quatre ailes est de 20 à 30 pour 100 du travail calculé.

Ce faible rendement montre que, par une construction bien entendue des moulins à vent, on pourrait augmenter notablement leur effet utile.

79. D'après le même expérimentateur (Smeaton) :

1° Si les ailes sont bien placées au vent, et que le moulin marche sans charge, la vitesse à l'extrémité est égale à quatre fois celle du vent.

2° Si le moulin est chargé, il donne son maximum d'effet utile lorsque la vitesse du bout des ailes est égale à 2.5 ou 2.7 celle du vent.

3° Les charges que peut vaincre le moulin sont à peu près proportionnelles aux carrés des vitesses du vent. Toutefois ces charges croissent un peu moins vite. Ainsi pour une vitesse double la charge au lieu d'être quadruple n'est que 3.75 fois plus grande.

4° Il résulte de là que les *travaux* sont à peu près dans le rapport des cubes des vitesses du vent; ou exactement pour une vitesse double le travail, au lieu d'être 8 fois plus grand, n'est que 7.02.

5° L'effet dynamique d'un moulin à vent en kilogrammètres pourrait donc être assez bien représenté par l'expression $n.\ S.\ v^3$. Le coefficient devrait être 0.05 pour les essais de Smeaton, dans lesquels la surface d'ailes S n'était que de $0^{m2}.2607$.

Pour les essais de Coulomb, le coefficient n serait de 0.03 seulement. Soit $Tn = 0.03.\ S.\ v^3$.

80. Cette équation ne peut donner qu'une valeur approximative du travail disponible d'un moulin à vent, lorsque la vitesse du vent est comprise entre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6m.5 et 4 mètres environ. Car si la vitesse est beaucoup plus grande ou beaucoup plus petite, le coefficient est sensiblement plus petit que 0.03.

81. Comme le travail moteur, d'après le tableau du n° 61, est en moyenne égal à 0.06845 v^3, ou 0.1052 v^3, suivant que l'inclinaison moyenne est 70° ou 60°.30 pour les trois dernières expériences qui se rapprochent le plus de la marche pratique, et que le travail utile ou disponible est, dans le même cas, 0.0287 v^3, le rendement d'un moulin à vent ne serait que de 0.4194 ou 0.273, ou au plus de 42 et de 27 pour 100 du travail théorique du vent sur les ailes, travail calculé d'après les vitesses pratiques, — et tout au plus de 29 pour 100 du travail maximum théorique.

CHAPITRE SIXIÈME.

DU VENT COMME MOTEUR AGRICOLE.

§ 1. — Emploi direct.

82. Il est peu d'industries dépensant plus de force motrice que l'agriculture, pour l'obtention et la préparation de ses produits, et cependant elle n'utilise encore, presque exclusivement, que les moteurs les plus coûteux : l'homme, le cheval, le bœuf et la vapeur. Aussi, ne craignons-nous pas de dire qu'il faut mettre au nombre des améliorations agricoles les plus urgentes, dans les grandes exploitations surtout, le remplacement de tout ou partie du travail des hommes et des chevaux par celui de la vapeur et même d'agents moteurs plus économiques, l'eau et le vent.

Le prix de revient de l'unité de travail mécanique utilisable doit (suivant un principe plusieurs fois posé par nous) être pris comme *criterium* de la valeur relative des moteurs.

Or, ce prix de revient se compose de quatre éléments : 1° l'intérêt du prix d'achat de l'agent moteur et de l'appareil récepteur nécessaire pour l'utilisation de la force motrice; 2° l'amortissement de cet agent moteur et de son récepteur; 3° les frais d'entretien et de conservation qu'ils exigent; 4° enfin la dépense nécessaire à l'entretien même de la force motrice.

83. Si nous comparons succinctement, d'après ce principe, le *cheval*, la *vapeur*, l'*eau* et le *vent*, ce dernier a l'avantage.

En effet, le prix d'achat du cheval (1°) et son taux d'amortissement (2°) sont excessivement élevés ; il en est à peu près de même des harnais et des manéges, appareils nécessaires à l'utilisation de la force du cheval (1° et 2°). Les soins qu'exige cet animal, les frais de logement et l'entretien des harnais et du manége sont aussi assez élevés (3°). Enfin (4°) le cheval consomme des aliments non-seulement pour produire de la force utilisable, mais encore pour l'entretien de ses fonctions vitales. On voit par cet examen superficiel que la force du cheval est coûteuse. On peut approximativement estimer le prix de revient de la *tonne kilométrique*, fournie par le cheval traînant une voiture ou une charrue, à 1 fr. 50 et à 2 fr., si le cheval agit sur un manége.

84. La vapeur est moins coûteuse que le cheval, à égalité de force, si la vapeur est employée à un mouvement de rotation sur place, et que sa puissance soit d'au moins 2 à 3 chevaux. En effet, chaque cheval-vapeur vaut alors à peu près deux chevaux vivants, au manége, et il ne coûte actuellement que 800 à 900 fr.; son prix tend à s'abaisser chaque année, tandis que celui du cheval vivant tend à s'accroître constamment. Les frais que nécessite la conservation d'une machine à vapeur sont moins élevés que ceux exigés par les chevaux vi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vants. L'amortissement d'une bonne machine à vapeur peut ne se faire qu'en vingt-quatre ans, sans qu'elle ait eu à subir de bien coûteuses réparations d'entretien; enfin, un avantage signalé de la vapeur sur le cheval vivant, c'est qu'elle ne mange que lorsqu'elle travaille et en proportion de son travail utilisé. Le prix de la *tonne kilométrique* fournie peut être estimé de 0 fr. 60 à 1 fr., suivant la force des machines.

85. La chute d'eau motrice forme une partie de la valeur foncière d'une propriété territoriale; elle s'achète donc, plus ou moins chèrement, il est vrai, suivant les lieux; elle exige un appareil récepteur, une roue, dont le prix d'achat, l'entretien et l'amortissement sont de beaucoup moins élevés que pour la vapeur; enfin, c'est un cheval qui ne mange rien, même quand il travaille. Le prix de la tonne kilométrique varie beaucoup suivant les conditions d'emplacement, la hauteur de chute et la force totale de la roue; mais dans la plupart des conditions agricoles il ne dépasse pas 30 à 46 centimes.

86. Enfin le vent ne coûte rien par lui-même; l'air qui passe sur une propriété ne fait pas partie de sa valeur foncière; la seule dépense première est celle du récepteur : les frais annuels se réduisent à l'entretien et à l'amortissement de ce récepteur, car le vent ne consomme rien, même pendant son travail. La tonne kilométrique peut ainsi être obtenue pour une dépense totale de 18 à 36 centimes, suivant la grandeur du moteur.

87. Le million de kilogrammètres disponibles sur l'arbre du récepteur est fourni aux prix suivants :

Par le vent, à...	0 fr. 36,	ou pris comme unité..	1.000
Par l'eau, à.....	0 — 46,	—	1.277
Par la vapeur, à.	1 — 00,	—	2.777
Par le cheval, à.	2 — 00,	—	5.555
Par l'homme, à.	16 — 00,	—	44.444

88. Il est donc bien démontré que le vent est le moteur le plus économique : l'eau seule peut lutter avec quelque chance, mais en un lieu quelconque sa force est limitée, car le volume d'eau est donné; tandis que la quantité d'air moteur dont on peut disposer est illimitée partout.

89. Mais si le volume d'air disponible est illimité, en revanche la vitesse du vent est fort variable. C'est le moteur le plus inconstant. On dispose du cheval et de la vapeur où et quand on le veut; l'eau est presque toute l'année à la disposition du meunier, tandis que le vent fait souvent absolument défaut au moment où il serait le plus utile; en outre, il est très-irrégulier dans son énergie : trop faible, il ne suffit pas au travail; trop fort, il fait courir de grands risques à l'appareil même qui doit recevoir son action et la transmettre.

90. Le premier inconvénient des moteurs à vent est peu important pour certains usages, l'élévation de l'eau, par exemple, puisqu'on peut l'emmagasiner dans un réservoir pour s'en servir en temps utile; l'irrrégularité est même en ce cas très-facile à supprimer, grâce à l'ingénieuse invention de M. Bernard, de Lyon, et qui consiste à faire varier, à l'aide d'un régulateur, la course de la pompe élévatoire et par suite le travail utile proportionnellement à la force du vent. Le moteur à vent est donc tout particulièrement propre à l'élévation de l'eau.

91. Mais il est nombre de travaux de ferme qui exigent une grande régularité de force et de vitesse : la mouture et le battage des grains, le coupage de la paille et des racines, par exemple. On comprend donc l'intérêt qu'il y a pour l'agriculteur à disposer de systèmes de moulins à vent capables de se régler d'eux-mêmes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quelle que soit la force du vent, à une vitesse uniforme, les ailes se fermant d'elles-mêmes lorsque le vent est trop fort, et s'ouvrant dès que le vent faiblit.

Depuis nombre d'années, plusieurs dispositions de moulins à vent de ce genre ont été proposées, et quelques-unes même ont été appliquées avec succès. Nous les examinerons dans la deuxième partie.

§ II. — Emploi indirect.

On a souvent proposé de se servir du vent pour élever de l'eau à une certaine hauteur dans de vastes réservoirs, pour se servir ensuite de cette eau dans une roue ou turbine motrice.

Il est clair que le vent pouvant fournir la tonne kilométrique à 0f.40 environ, si on emploie ce travail à élever de l'eau avec une *noria* on enmagasinera dans le réservoir 800,000 kilogrammètres qui, appliqués à une roue hydraulique bien faite, donneront 480,000 kilogrammètres disponibles sur l'arbre.

La tonne kilométrique indirectement fournie par le vent coûterait donc alors environ 0f.62, ce qui est encore au-dessous du prix auquel une machine à vapeur peut fournir du travail.

Une autre manière d'utiliser indirectement le vent consiste à faire chauffer de l'eau par des disques frottant l'un contre l'autre et mus par des machines à vent. On pourrait ainsi chauffer sans charbon une machine à vapeur pendant les vents favorables, et dans les intervalles on emploierait du combustible : il n'y aurait alors aucun chômage dans le travail. En admettant, ce qui est très-près de la vérité, que pendant les quatre dixièmes de l'année le vent suffit, on aurait pour chaque tonne kilométrique de travail fourni : 400,000 kilogrammètres donnés par le vent au prix de 0f.36 la tonne, soit 0f.144,
et 600,000 kilogrammètres fournis par la vapeur au prix de 1 fr., ou 0f.600.

Ce qui donne comme prix moyen de la tonne 0f.744, ou un bénéfice de 25 p. 100 sur la vapeur seule.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE DES DIVERS MOTEURS A VENT.

CHAPITRE PREMIER.

DES DIVERSES DISPOSITIONS DES MOTEURS A VENT.

§ I. — Classification de ces moteurs.

92. Si nous examinons les diverses inventions dont les moteurs à vent ont été l'objet, nous voyons qu'il y en a dont l'axe de rotation est horizontal ou à peine incliné sur l'horizon, et dont les ailes, ou du moins leur ligne centrale, décrivent un plan vertical : d'autres ont au contraire leur axe vertical, et parmi ces derniers, il en est dont l'axe de chaque aile décrit à peu près un plan horizontal, tandis que dans les autres la surface engendrée est cylindrique et verticale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces caractères sont les plus tranchés; ils déterminent deux classes : les moulins à axe horizontal et ceux dont l'axe est vertical.

93. Dans la première classe, la volée, pour avoir plus de rendement, doit être placée perpendiculairement à la direction du vent.

Il faut donc que cette volée puisse prendre avec son support toutes les positions pour que son arbre soit toujours parallèle à la direction du vent. Or, par rapport à l'axe pivotal du support, la volée peut occuper deux positions très-distinctes : elle recevra le vent en dehors, ou, au contraire, en dedans. Dans cette dernière position, le moulin s'oriente toujours de lui-même par la pression du vent. Dans le premier cas, il doit être orienté à la main ou par un mécanisme spécial ; par exemple, une queue *girouettée* fixée solidairement au bâti qui porte l'arbre de rotation de la volée.

Les autres caractères distinctifs seront le mode de règlement de la surface motrice des ailes et enfin le nombre des ailes.

94. Dans la deuxième classe, il y aura les moulins à volée plane ou décrivant un plan horizontal, et les moulins à volée cylindrique ou décrivant une surface cylindrique. Les caractères secondaires sont les mêmes que ceux de la première classe; mais, avant tout, on peut distinguer les moulins dans lesquels les ailes ne travaillent que pendant une portion de chaque tour et s'effacent ensuite pour ne pas agir contre le vent.

95. Voici, du reste, un tableau synoptique de notre classification :

- Moteurs à vent.
  - à axe horizontal.
    - à volée extérieure ou en dehors.
      - s'orientant à la main.
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à antennes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à ailettes.
      - s'orientant seuls
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à antennes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à ailettes.
    - à volée intérieure ou en dedans.
      - s'orientant seuls
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à antennes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à ailettes.
  - à axe vertical.
    - à volée plane
      - les ailes ne s'effaçant pas
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant seules : à antennes.
        - les ailes se réglant seules : à ailettes.
      - les ailes s'effaçant
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à antennes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à ailettes.
    - à volée cylindrique.
      - les ailes ne s'effaçant pas
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à antennes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à ailettes.
      - les ailes s'effaçant
        - les ailes se réglant à la main : à antennes.
        - les ailes se réglant à la main : à ailettes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à antennes.
        - les ailes se réglant d'elles-mêmes : à ailettes.

CHAPITRE DEUXIÈME.

MOULINS A AXE DE ROTATION HORIZONTAL.

§ I. — Moulins ordinaires, à antennes, ne s'orientant ni se réglant seuls.

96. Cette disposition est non-seulement la plus ancienne, mais encore la plus commune, et, à ces deux titres, elle a droit à une étude détaillée. Bien qu'il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exige la main de l'homme pour orienter la volée et régler la surface des voiles suivant la force du vent ou la résistance à vaincre, ce moulin bien établi rend de grands services s'il est sous la direction d'un homme intelligent et consciencieux.

Il ne présente aucune complication, et, par suite, son entretien est très-peu coûteux : il se réduit au graissage, et au remplacement des voiles usées et des bâtons rompus.

La figure 7 (pl. 254) représente une coupe verticale d'un moulin de ce genre, disposé pour faire marcher les appareils d'une huilerie à colza.

On voit que le vent agit sur le devant de la *volée* : la *tour-support* est donc toujours sous le vent de la volée.

La charpente formant comble et portant la *volée* peut tourner autour de l'axe vertical de la tour, et, pour rendre ce mouvement aussi doux que possible, le bord du toit repose souvent sur des galets de grand diamètre.

Ici l'égout du comble ou les sablières reposent par l'intermédiaire de plaques de fer, recourbées deux fois d'équerre, sur un *rail* en fer fixé dans la corniche qui termine la tour fixe. En outre, le comble est relié par des contre-fiches obliques à une boîte en fonte à bord cylindrique mince qui repose dans une cuvette annulaire, de même métal, solidement fixée sur un plancher.

Un grand levier, appelé parfois *queue du moulin*, est fixé sur le comble et vient jusqu'à un mètre environ du sol : il sert à orienter les ailes pour que la direction du vent soit toujours parallèle à l'axe de rotation ; sans cela il y aurait nécessairement perte de l'action du vent. L'homme qui fait mouvoir le levier s'aide ordinairement d'un petit treuil qui multiplie sa force par 3 ou 4, et lui permet ainsi d'exercer autant d'effort que 3 ou 4 hommes ; mais en attirant 3 ou 4 fois moins vite la résistance qu'il surmonte.

L'arbre de la volée est incliné d'environ 14 degrés sur l'horizon ; il repose près des ailes sur un tourillon en bois de 0m.48 de diamètre, garni de bandes de fer et de bois alternativement pour éviter que le frottement use l'arbre, partie importante de la volée. A son extrémité postérieure, l'arbre est terminé par un petit *tourillon-pivot* en fer ; c'est contre le fond du *coussinet-crapaudine* qu'appuie l'arbre poussé par toute la pression de l'air sur les ailes : on réduit ainsi le travail du frottement autant que possible.

Une roue conique dentée calée sur l'arbre de la volée conduit une roue du même diamètre placée sur un arbre vertical central. Cet arbre conduit, par une roue cylindrique, l'arbre vertical des meules à écraser les graines dont on veut extraire l'huile ; l'arbre de la volée faisant, suivant la vitesse du vent, de 7.5 à 13 tours par minute, l'arbre vertical central fait le même nombre de tours, et celui de la meule à broyer fait au plus de 8.3 à 14.5 tours ; l'arbre à cames fait dans le même temps de 9 à 15.6 tours. Il porte dix cames : 2 pour chacun des cinq pilons, pesant 510 kilog. chacun ; deux autres cames servent à soulever le pilon de la presse à coin, du poids de 250 kilog. seulement. On peut à volonté, suivant la force du vent, ne faire marcher qu'un, deux ou trois pilons.

Les antennes ou bras ont douze mètres de longueur comptés à partir de l'axe de rotation ; la voilure commence à 1m.75 de cet axe, et la largeur des ailes est de 2m.20 en moyenne. La longueur des voiles étant de 10m.20, chaque aile présente au vent une surface de 22.44 mètres carrés au plus.

Les grands moulins hollandais, employés au débitage des bois, ayant environ cent mètres carrés de voilure, coûtaient, entiers et tout compris, en 1805, de 35 à 40,000 francs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ II. — Moulins ordinaires, à antennes en dehors, s'orientant seuls.

97. Pour forcer un moulin, qui reçoit le vent en dehors, à se tourner de lui-même au vent pour que la direction de celui-ci soit parallèle à l'axe de rotation, il faut fixer, sur le comble rotatif qui supporte la volée, une longue queue garnie d'une surface considérable en bois, tôle, ou toile, et formant une girouette assez puissante pour que l'action du vent force le comble à tourner. En combinant la surface avec la grandeur du levier, on doit théoriquement faire tourner le comble le plus lourd. Toutefois, de petites variations de direction d'un vent médiocre peuvent parfois ne pas suffire pour entraîner la volée et le comble qui la porte; ce qui a le double inconvénient de diminuer l'action du vent et de fatiguer les assemblages.

98. Un constructeur a eu l'ingénieuse idée de faire de la girouette un moulinet à ailes que le vent fait tourner tout en le poussant comme girouette; de sorte que si la pression du vent contre cette roue-girouette ne peut faire pivoter le comble pour mettre la volée au vent (fig. 8), elle suffit au moins pour faire tourner les ailettes de ce moulinet. Or, l'arbre de ce dernier porte une roue conique C qui conduit la roue semblable D; à l'extrémité de l'arbre de la roue D est fixé un pignon qui conduit la roue conique G calée sur l'extrémité d'un arbre. Ce dernier porte à l'autre bout un pignon H, commandant la couronne dentée J, fixée en dessous du comble qui repose sur des galets.

Ainsi, dès que le vent souffle sur la droite de la girouette ou du devant de la figure, les ailettes tournent de gauche à droite, et, par les divers engrenages, forcent la couronne à tourner dans le même sens. Si le vent souffle du côté opposé, le mouvement inverse a lieu.

Bien que cette disposition exige en tout trois paires d'engrenages et une girouette à moulinet assez coûteuse, nous la croyons nécessaire pour assurer par tous les vents l'orientation de la volée. Par les vents faibles, les roues aident au pivotement; par les vents forts, il n'y a pas à craindre comme avec une girouette simple que le *grippement* des galets, en empêchant pendant un instant le moulin de s'arrêter, y cause des ruptures : car, quelque résistance que présente le comble au pivotement, le pignon commandant la couronne l'entraînera par la rotation des engrenages et celle du moulinet qui est la première cause de ce mouvement.

§ III. — Moulins ordinaires en dedans.

99. Lorsque le moulin reçoit le vent en dedans (fig. 9) et que l'ensemble peut tourner autour d'un axe vertical A, la volée tend à pivoter jusqu'à ce que son plan soit perpendiculaire à la direction du vent; c'est la seule position d'équilibre stable : les pressions sur les ailes sont égales de chaque côté de l'axe A et leur résultante passe par cet axe même, car leurs bras de levier sont égaux. Si la direction du vent devient oblique, le bras de levier de la pression du vent par rapport à A est plus grand du côté C que du côté B, et l'équilibre ne se rétablira que quand la volée CB aura pivoté autour de l'axe A jusqu'à se mettre perpendiculaire à la direction du vent.

Ainsi, ces moulins s'orientent toujours d'eux-mêmes, et d'autant plus facilement que leurs ailes ont un plus grand diamètre, et que le centre de gravité de la volée est plus loin de l'axe vertical de rotation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 4. — Des divers moyens de faire varier la surface motrice des ailes.

100. Dans les moulins ordinaires, on ne peut régler la surface motrice des ailes qu'en arrêtant la volée et repliant plus ou moins de voiles. Dans les situations privilégiées, où le vent est à peu près constant, et la résistance à vaincre facile à régler, ce moyen suffit, surtout si l'homme qui dirige le moulin est attentif et consciencieux. Mais il n'est plus convenable si le vent est sujet à de fréquentes variations et si la résistance à vaincre est à très-peu près constante, ou si la vitesse de marche doit rester entre des limites assez rapprochées.

101. Aussi, depuis fort longtemps, les inventeurs ont-ils fait leurs efforts pour trouver un moyen efficace et simple de forcer les voiles ou les ailes à se replier quand le vent devient plus fort ou la vitesse trop forte; et, au contraire, à s'étendre si le vent faiblit ou si la vitesse diminue. Et c'est un perfectionnement qui a toujours été considéré comme étant de première importance.

Il est évident que nous ne pouvons ici examiner tous les moyens proposés. Nous nous bornerons à ceux qui ont réussi plus ou moins complétement.

102. Dès le commencement de ce siècle, on signale en Angleterre un moulin dans lequel les voiles s'enroulent ou se déroulent d'elles-mêmes suivant le besoin. Et ce n'était pas le premier, car on en citait un imaginé par MM. Girard, inventeurs de la lampe hydrostatique.

La figure 10, dans ses quatre détails, représente la disposition anglaise seule, les autres n'étant pas parvenues à notre connaissance. Les ailes sont formées chacune d'un châssis fixe, et d'un autre mobile à coulisse dans le premier.

Les châssis fixes et mobiles n'ont pas leurs barres parallèles, puisque les ailes doivent être gauches. Mais le châssis mobile peut cependant marcher à coulisse dans le fixe.

Cette disposition paraît un peu compliquée, mais elle est efficace et agit même pour de faibles variations de vitesse du vent si les contre-poids sont bien calculés. Nous n'avons pas besoin de dire que le châssis mobile est du côté des ailes non frappées par le vent.

La voilure est formée de plusieurs pièces de toile semblables, ayant chacune, par rapport au plan du mouvement, l'angle qui convient à sa position par rapport au centre de rotation. Chaque pièce A est fixée par des clous, d'un bout sur les traverses B d'un châssis fixe C formant la charpente de l'aile, et de l'autre bout sur un rouleau en bois qui peut tourner pour enrouler ou dérouler la toile suivant le sens de sa rotation. Les tourillons de ces rouleaux sont enchâssés dans les bords d'un châssis mobile E, qui peut se rapprocher ou s'éloigner du centre de rotation. Quand le châssis se rapproche du centre, les toiles se déroulent toutes en même temps et la surface motrice augmente : réciproquement, quand le châssis mobile s'éloigne du centre, il fait enrouler toutes les toiles, et d'autant plus qu'il s'écarte davantage : alors la surface de toile présentée au vent diminue.

Il s'agit donc de faire en sorte que, lorsque la vitesse du vent diminue, le châssis mobile, glissant à coulisse dans le châssis fixe, se rapproche du centre, et qu'au contraire, lorsque la vitesse du moulin augmente, c'est-à-dire quand le vent devient plus fort, il s'écarte du centre; pour cela, le châssis mobile est relié par le levier fourchu G, qui se retourne d'équerre en H, à une des branches de la croix J, qui termine en avant une tringle dont l'autre bout accroche la tête d'une crémaillère K.

Quand le châssis mobile s'écarte du centre, le levier G, par sa petite branche

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'équerre H, attire la tringle Q, et, par suite, la crémaillère K ; celle-ci fait tourner le pignon L, et la roue M fait tourner le pignon conique N. Sur l'arbre de ce dernier est fixée une grande poulie à gorge sur laquelle passe une corde ou une chaîne sans fin R dont un des brins verticaux porte de forts poids.

Ainsi, quand le châssis mobile s'éloigne du centre, les voiles s'enroulent ou diminuent de surface, la tringle Q (qui passe dans l'arbre creux de la volée) s'élève ou vient en avant, la crémaillère K fait tourner le pignon droit L, la roue M fait tourner le pignon conique N et, par suite, la poulie O qui soulève les poids P d'autant plus haut que la force du vent s'est plus accrue.

Réciproquement, si la vitesse vient à diminuer, ou si le vent faiblit, le contre-poids, qui était tout à l'heure *résistant*, devient moteur; il fait tourner la poulie O, puis le pignon conique fait tourner la roue M, et, enfin, le pignon L fait marcher la crémaillère K de façon que la tringle Q est attirée en bas ; chaque branche de la croix J, ainsi entraînée, agit sur le levier H, et attire, par suite, vers le centre le châssis mobile E, ce qui fait dérouler les toiles ou augmenter la surface motrice des ailes.

Il reste à démontrer d'abord comment le châssis mobile peut s'écarter spontanément du centre. Ceci est facile : la force centrifuge que la vitesse de rotation fait naître dans ce châssis tend à l'éloigner du centre tant que la vitesse croît, et le mouvement inverse est seulement facilité par les contre-poids qui, sans cette fonction de vaincre les frottements, n'auraient pas de raison d'être.

Enfin, pour que les rouleaux D tournent quand le châssis se rapproche ou s'éloigne du centre, ils portent un petit disque saillant S qui frotte contre une barre de fer ou de bois U; la pression des rouleaux contre la barre U est assurée par la disposition du levier G qui, par les articulations de sa partie fourchue, appuie toujours sur le châssis mobile.

103. *Moulin de M. Delamolère.* Ce moulin était établi sur la maison d'habitation d'une cour de ferme ; il portait quatre ailes de 4 mètres carrés et quatre intermédiaires de $3^m.40$ seulement, à cause du recouvrement. Il se distinguait surtout par une disposition particulière pour diminuer, quand le vent était très-fort, la surface des voiles sans avoir besoin d'arrêter le moulin. Chaque aile avait le quart de sa voile cloué sur un cadre formant volet, que le vent aurait toujours tenu ouvert, si, à l'aide de contre-poids convenablement calculé, on ne l'avait tenu fermé.

La fig. 11 de la planche 254 donne une idée de la disposition imaginée pour que les volets s'ouvrent spontanément quand le vent acquiert une certaine force.

Sur l'arbre A de la volée peut glisser un plateau B, auquel sont attachées les cordes qui tiennent fermés les quatre volets ; une griffe est enfilée aussi sur l'arbre et peut y glisser : cette griffe accroche le plateau B et l'entraîne avec elle suivant la flèche quand le contre-poids E tend à faire tourner le secteur denté F qui attire la crémaillère D solidaire de la griffe C.

Tant que le vent par sa pression sur les volets ne peut soulever le contre-poids E, les volets restent fermés ; mais, pour une certaine vitesse de vent, le poids E est soulevé, et les volets poussés par le vent s'ouvrent de plus en plus.

On peut au besoin, à l'aide de la corde G, passant sur une poulie et accrochée à l'extrémité du levier à contre-poids, soulever ce poids, et, par suite, ouvrir les volets sans arrêter le moulin.

104. *M. de Mauny* a très-heureusement perfectionné cette disposition, comme le montre la fig. 12. La partie principale de l'invention consiste dans l'écran en éventail A qui est pressé par le vent : il s'incline si le vent est assez fort pour soulever, par l'extrémité du levier B, le contre-poids F ; en s'inclinant, l'éventail

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entraîne le levier B sur lequel il est fixé, et qui attire à lui, par la tringle C, la queue du secteur denté E; de sorte que, si le vent est assez fort, la crémaillère E est repoussée, et alors les volets ont leurs cordes lâches, ils peuvent s'ouvrir sous le vent.

Dès que le vent faiblit, l'éventail A est ramené en place par le contre-poids F, et les volets se ferment; on peut ouvrir plus ou moins l'éventail suivant que l'on a besoin de plus ou moins de sensibilité.

Au lieu d'employer ce mécanisme seulement pour ouvrir des volets formant le quart des ailes, on pourrait le disposer pour faire tourner chaque aile autour de son axe longitudinal pour qu'elle s'efface plus ou moins sous le vent.

Une corde M, mue de l'intérieur du moulin, permet d'attirer l'éventail lorsque l'on veut ouvrir les volets.

105. Dès 1829, M. Amédée Durand avait imaginé un moulin, à volée en dedans, dont les ailes en tôle s'effaçaient spontanément plus ou moins suivant la force du vent.

La figure 13 montre cette disposition d'aile fort ingénieuse et efficace, car l'habile mécanicien avait tout prévu, comme le prouvera la description suivante.

Les ailes sont en tôle et portées chacune par une antenne bien clavetée dans un des bras d'un croisillon fixé sur l'arbre de rotation. L'antenne est en fer rond et sert d'axe longitudinal à l'aile, mais celle-ci présente trois cinquièmes de sa largeur d'un seul côté de l'antenne qui la porte; le petit côté de l'aile est celui qui fend l'air. Toutefois, l'ensemble de l'aile est disposé, malgré l'inégalité des surfaces, à droite et à gauche de l'antenne, de façon que le centre de gravité soit sur cette antenne; celle-ci à son extrémité se replie d'équerre pour porter les appareils de règlement de l'obliquité de l'aile.

Le large côté de l'aile s'appuie par l'intermédiaire d'un tirant Y contre un ressort enroulé en partie autour de l'antenne, de sorte que, par le seul effet de ce ressort, le large côté de l'aile cède et s'efface sous un vent fort.

A priori, on pourrait croire que ce moyen suffirait pour régler l'obliquité de l'aile, et, par suite, conserver la vitesse constante, l'aile s'effaçant quand la la force du vent augmente et réciproquement; mais il n'en est pas ainsi, et au-delà d'une certaine pression du vent, c'est le contraire qui se produit, c'est-à-dire que plus le vent devient fort, plus l'aile s'étale sous le vent.

Nous croyons que l'étude théorique, qui forme la première partie de ce travail, donne l'explication de ce fait curieux et en apparence contraire aux lois de la mécanique.

Quand le vent après avoir déjà effacé notablement l'aile augmente de force, il en résulte derrière l'aile une réaction de plus en plus forte, et qui agit sur une surface égale à la surface pressée par le vent; mais comme l'axe de rotation de l'aile est aux deux cinquièmes de sa largeur, il y a du côté en retard une plus forte pression totale qui tend à étaler l'aile toutes les fois que la vitesse augmente, parce que la résistance augmente, de l'arrière sur le grand côté, sur lequel, pour ainsi dire, doit fuir l'air choqué par le dos des ailes. Il est probable que cet effet se produit dès que l'obliquité de l'aile a dépassé un certain angle pour lequel l'air entre sans choc et sort de même.

Ainsi l'emploi d'un ressort pour laisser l'aile s'effacer sous le vent est insuffisant : aussi M. A. Durand n'emploie ce moyen qu'accessoirement et pour donner au mécanisme une grande douceur de mouvement.

106. Sur l'extrémité de l'antenne repliée d'équerre, c'est-à-dire perpendiculairement au plan de rotation des ailes, est enfilé un levier Z avec sa petite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

branche repliée d'équerre pour venir s'accrocher au tirant Y articulé contre le grand côté de l'aile. A l'extrémité de ce grand levier est fixé un fort poids V en plomb. Dès que la vitesse s'accroît, le plomb, par la force centrifuge, tend à s'écarter du centre de rotation d'où il tourne comme l'indique la flèche, et la petite branche de ce levier attire par le tirant Y le grand côté de l'aile; celle-ci s'efface donc quand la vitesse de rotation croît. Dès que la vitesse diminue, au contraire, le poids tend à se rapprocher du centre; mais comme il faut vaincre de petites résistances de frottement, on aide à ce mouvement de retour du poids et de l'aile par les ressorts à boudin R, enfilés et fixés d'un bout sur la tringle qui relie les extrémités des bras de deux ailes voisines.

La chaîne P a la longueur convenable pour que, dans la petite force moyenne du vent, l'aile ait la meilleure inclinaison pour l'utilisation de la force du vent.

107. Pour faire effacer d'un degré l'aile sous le vent, il faut que le levier Z à contre-poids s'éloigne aussi d'un degré; or, il est visible que plus le poids V s'éloigne du centre, moins il a d'influence, et à la limite, s'il était exactement dans le prolongement du rayon, il n'en aurait plus du tout; il fallait donc faire en sorte qu'il naisse une action croissante quand la force centrifuge diminue d'influence. C'est le but de la plaque de tôle X placée sous le poids V. Plus le poids s'écarte du centre, plus la plaque, qui d'abord tranchait l'air par son profil, se redresse et présente une surface de plus en plus grande de résistance à l'air; l'air réagit donc de plus en plus sur la plaque, et cet effet s'ajoute heureusement et d'autant plus que l'influence de la force centrifuge diminue plus.

108. Ainsi : le ressort R est ajouté au mécanisme régulateur principal pour vaincre l'inertie au retour des ailes quand le vent fléchit; et la plaque X est ajoutée au poids régulateur centrifuge pour accroître l'effet de ce poids lorsque le vent est par trop fort, la réaction croissante que fait naître dans l'air cette plaque équivalant à une augmentation du poids régulateur.

Tel est l'ensemble de cet ingénieux mécanisme qui a bien réussi en pratique, quoique l'inventeur en ait trouvé un plus convenable depuis.

Dans ce mécanisme il y a :

1° Le ressort qui fléchit quand le vent presse davantage, et laisse s'effacer l'aile;

2° Le poids régulateur centrifuge, qui efface l'aile quand la vitesse s'accroît;

3° Le ressort de traction, qui a pour but de vaincre l'inertie lorsque l'aile doit revenir en place quand le vent faiblit;

4° La plaque régulatrice faisant l'effet d'un accroissement de poids progressif, quand la force centrifuge n'aurait plus assez d'influence.

109. Vers 1849, M. Berton imaginait un moyen très-simple de replier les ailes sans arrêter le moulin (fig. 14).

Les ailes sont formées de planches qui se recouvrent d'environ le tiers de leur largeur; elles sont fixées par de petits boulons-axes sur des bras boulonnés par leur milieu sur la vergue ou antenne et pouvant tourner autour du boulon qui les fixe. L'ensemble de ces bras parallèles et des planchettes forme une série de parallélogrammes articulés à chacun de leurs angles, de façon que si la crémaillère A se meut suivant la flèche, l'aile se ferme et réciproquement. Un seul pignon, auquel on donne le mouvement par une paire d'engrenages, commande les quatre crémaillères, et, par suite, donne le moyen de fermer ou d'ouvrir les quatre ailes à la fois.

110. Si l'on veut rendre ce règlement spontané, il suffit de faire commander

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'axe du pignon par un régulateur à boules d'un système quelconque, soit un de ceux appliqués au règlement des machines à vapeur.

111. Il y a une quinzaine d'années, M. A. Durand imagina une nouvelle disposition de moulin à vent, se réglant de lui-même et s'orientant seul. C'est encore un moulin en dedans, qui doit être placé sur un mât retenu par des haubans ou mieux par quelques contre-fiches. Le support ne masque pas ainsi le vent aux ailes.

La figure 15 de la planche 255 représente une aile de ce moulin.

Les quatres vergues ou bras A sont fixés dans un croisillon en fonte qui peut glisser sur l'arbre d'un bout à l'autre tout en tournant avec lui, parce que les deux barres BB passent dans deux mortaises d'une pièce C appelée *toc*. Ces deux barres BB, solidaires du moyeu du moulin, peuvent glisser dans les mortaises du *toc*, lorsque le moulin glisse le long de son arbre : en arrière, s'il s'est attiré par le contre-poids D; en avant, s'il est pressé par un vent suffisamment fort. Ces barres font l'effet d'un embrayage; elles entraînent l'arbre avec la volée quand la volée tourne.

112. Ce mouvement de glissement du moulin sur son axe est utilisé pour faire effacer les ailes plus ou moins.

L'aile est formée par une voile triangulaire, attachée par de petites courroies, et à sa base, sur la petite vergue EF suspendue au bout de l'aile, et tendue à sa pointe par une courroie à boucle G. Au point E, l'aile est fixée par une poche sur le bout de la vergue oscillante EH qui peut tourner autour du point J; le bout inférieur de la vergue EH est enfourché dans la douille de la bielle HI articulée en I à une des branches fixes du toc, fixe aussi.

Si le vent augmente de force, tout le moulin glisse sur son arbre suivant la flèche; alors comme le point I est fixe et que le point H s'avance, la bielle HI est forcée de décrire un cône, et par suite la bielle EH tourne autour du point J, et la voile s'efface au vent.

Si, au contraire, le vent faiblit, le moulin tout entier ou la volée marche en sens contraire de la flèche, attirée par le contre-poids D, et alors le mouvement inverse de la bielle HI se produit, la voile s'étale sous le vent.

L'expérience paraît en faveur des ailes en toile, par rapport aux ailes en tôle ou en planches.

113. Le moulin que nous venons d'indiquer est, comme on le voit, très-simple, bien qu'il s'oriente et se règle de lui-même sans mécanisme compliqué ou sujet à se déranger. Il peut être recommandé avec assurance : il doit être posé sur un mât ou un support à claire-voie, pour ne pas masquer le vent aux ailes.

Ce qui précède donne de l'état d'avancement des moulins à vent ordinaires, au moment de l'Exposition universelle de 1867, une suffisante idée pour que l'on puisse juger, en connaissance de cause, les nouveautés qui ont pu se produire.

114. M. Marrot exposait à Billancourt, en 1867, un moulin à vent en dedans d'une bonne disposition, que la figure 16 représente en perspective, la fig. 17 en coupe et la fig. 18 de face.

Sur une tourelle en pierre, contenant les meules à faire farine ou les pompes à élever l'eau, est fixé un bâti en bois à claire voie, terminé en haut par un cercle en fer formant rail. Ce cercle supporte, par l'intermédiaire de roulettes, les deux paliers de l'arbre horizontal de la volée. Au centre de ce bâti et embrassé par des croisillons en bois, se trouve l'arbre vertical de la meule courante. Lorsque le vent souffle avec assez de force les voiles, comme dans tous les moulins *en dedans*, sont poussées de l'intérieur vers le dehors, de sorte que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur arbre se déplace dans son plan horizontal jusqu'à ce qu'il soit parallèle à la direction même du courant d'air : le moulin s'oriente donc seul et sans l'aide ordinaire d'une énorme girouette placée à l'opposé des ailes.

La roue d'engrenage conique C, calée sur l'arbre des ailes, commande toujours le pignon placé sur le haut de l'arbre vertical, et quelle que soit l'orientation du moulin. La figure 17 représente, sur une plus grande échelle, le mode de règlement spontané de la surface des voiles. Le contre-poids H est calculé de façon que, lorsque les voiles sont tout à fait développées, le vent utilisable le plus faible, c'est-à-dire d'environ 3 mètres de vitesse, puisse par sa pression sur les ailes, y faire exactement équilibre; le vent augmentant un peu de force, la pression sur les voiles dépasse celle qui équilibre le contre-poids et celui-ci est par suite soulevé; le moyeu et les ailes qui sont reliées à ce contre-poids glissent sur l'arbre CB, de C vers B, et d'autant plus vite que l'augmentation de vitesse est plus intense. Ce déplacement de l'ensemble des ailes et de leur moyeu est très-doux, grâce à l'emploi de roulettes, et il est utilisé pour faire ouvrir ou fermer les voiles; quand le vent augmente, le déplacement se fait de C vers B, et les voiles se ferment. Dès que le vent faiblit, le déplacement ayant lieu en sens inverse, grâce au contre-poids, les voiles s'ouvrent.

Pour cela (fig. 16 et 17) chaque voile est fixée par son milieu à une perche ou arbre en bois formant l'axe longitudinal de l'aile et portant, vers le moyeu, une poulie à double gorge. Cette poulie est embrassée par une corde en boyaux attachée par ses deux extrémités au cadre fixe B. Lorsque le moyeu marche le long de l'arbre, la poulie tourne si la corde est suffisamment tendue, et les voiles s'enroulent sur leur arbre ou perche, ou se déroulent suivant le sens du déplacement de l'ensemble des ailes. Chaque voile est formée de deux pièces de toile formant ensemble un plan gauche un peu incliné sur la normale à l'axe du moulin, comme cela doit être pour que les ailes reçoivent l'air sans choc.

Ce moulin fonctionnait avec une grande précision. Il est clair, en effet, que tout accroissement de vitesse du vent est nécessairement, spontanément et instantanément suivie d'une diminution de la surface des voiles et réciproquement; et ces variations de la surface des voiles sont toujours inversement proportionnelles à l'accélération de la vitesse. Les quatre ailes avec leur moyeu commun sont donc constamment en mouvement de C vers B, ou de B vers C, et la pression totale sur ces ailes est toujours égale au contre-poids H. On aura donc un travail moteur régulier, et cela par le jeu même de l'appareil.

Une corde passant sur deux poulies de renvoi permet d'arrêter la descente du contre-poids H pour que le maximum d'ouverture des voiles ne puisse être dépassé, ou de le soulever pour organiser le jeu du régulateur.

Les seuls reproches qu'on puisse peut-être adresser à ce système de règlement des ailes et à la disposition générale du moulin, c'est le nombre assez grand de cordelettes en boyaux qu'il renferme et qui peuvent varier de longueur suivant le degré d'humidité de l'air. Il coûte 1200 fr. pour le premier cheval et ensuite 300 fr. de plus par cheval.

115. Après le moulin Marrot exposé à Billancourt, et qui paraît excellent, vient le moulin à vent à six ailes de M. O. Mahoudeau. Il semble être une imitation imparfaite du second moulin A. Durand. Le mode de fixation des bras est le même; chaque aile est aussi formée d'une voile triangulaire attachée par sa base à une vergue en fer, et par son sommet ou sa pointe vers l'origine des bras.

Dans l'ancien modèle de M. O. Mahoudeau, une des extrémités de la vergue était fixée vers le quart de sa longueur à un ressort appliqué contre le bras pré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cédent. Dans cette disposition, lorsque le vent frappe la voile, celle-ci tend à s'effacer au vent dès que le vent est trop fort, puisque le ressort fléchit. Si le vent faiblit, le ressort repousse la voile qui reprend sa position. Ce moyen est-il efficace? nous l'ignorons. Il n'a pas du tout réussi à M. A. Durand pour des ailes en tôle; réussit-il pour la toile?

C'est un moulin à vent s'orientant de lui-même. Ses ailes ont en tout 10 mètres carrés; les bras qui portent les voiles ont chacun 3 mètres de longueur et sont légèrement inclinés vers l'extérieur.

Dans le modèle du Champ de Mars, en 1867, il nous a semblé que la vergue faisait elle-même fonction de ressort.

Ce moulin coûte 600 francs.

D'après les chiffres pratiques de notre précédent travail, il donnerait en travail utile, avec un vent de

4m.0 de vitesse... 21 kilogrammètres 76, ou moins d'un quart de cheval-vapeur.

Avec un vent de

6m.5 de vitesse... 87 — 68, ou un peu plus d'un cheval-vapeur.

Et comme la pompe ne peut guère rendre que 55 pour 100 du travail moteur, on ne pourrait guère élever pour la moyenne de ces deux vitesses de vent que 30 litres à 1 mètre, encore sans tenir compte des frottements dans les tuyaux si le parcours était long. Ainsi c'est un moteur d'un tiers de cheval à un cheval un sixième, coûtant 600 fr. : — soit 517 à 1800 fr. par cheval, sans tenir compte des frais d'installation et du coût de la pompe, des tuyaux et des accessoires, qui s'élèvent encore assez haut.

116. M. Formis exposait, au Champ de Mars aussi, un moulin à vent imaginé par M. Dellon, ingénieur des ponts et chaussées. Ce moteur commandait, par une paire de roues d'angle, une turbine destinée à élever l'eau à de faibles hauteurs, comme cela se présente le plus souvent dans le cas de dessèchements de marais.

La volée s'oriente d'elle-même et présente une disposition d'ailes assez bonne. A l'extrémité de chacun des huit bras rigides est attachée l'extrémité flottante d'une longue vergue articulée sur le milieu du bras qui, dans le sens de la rotation, vient immédiatement avant; une voile triangulaire est placée entre le bras et la vergue. Le bout de la vergue est tiré par une corde qui file le long du bras et pénètre à l'intérieur de l'arbre horizontal, puis en sort par l'extrémité opposée aux ailes, et il est tendu par un poids calculé de façon que pour une vitesse trop forte, plus de 9 mètres par exemple, il soit soulevé par la pression du vent sur la voile, qui alors s'efface au vent.

On voit que le poids remplace le ressort qu'emploie dans le même but M. O. Mahoudeau. Nous préférons le poids au ressort, dont il est bien difficile de régler la force uniformément pour chaque aile, et qui diminue d'énergie avec le temps.

Ce moulin a servi avec succès au dessèchement des marais si nombreux entre Montpellier et Cette, et il a parfaitement résisté aux plus grands vents.

§ 3. Turbines à air à axe horizontal.

117. On peut voir par ce qui précède que les constructeurs tendent à augmenter le nombre des ailes : de quatre on passe à six, et même huit. Si ce dernier nombre est dépassé, on a ce que nous appellerons les *turbines aériennes*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Théoriquement elles ne diffèrent des moulins à vent que par le nombre des ailes, mais pratiquement elles présentent quelques avantages : 1° la pression du vent agissant sur un grand nombre de points à la fois, le travail est plus uniforme ; 2° la surface motrice étant vers l'extrémité a plus d'action, toutes choses égales d'ailleurs ; 3° enfin, la construction elle-même peut être plus légère à résistance égale, et par suite 4° on peut utiliser des vents plus faibles et des vents plus forts qu'avec les moulins à quatre ailes.

L'exposition internationale de 1867 présentait des moteurs à vent de ce genre. Avant de les examiner, quelques mots sur la *turbine à air* de M. Jassenne, exposée à Paris en 1855.

118. Le but de M. Jassenne, tel qu'il l'indique, était de faire rendre à la puissance vive du vent tout le travail effectif qu'elle peut donner (fig. 19.) Devant les ailes un large cône concentre le vent.

Mais bien que les moulins à quatre ailes, comme nous l'avons vu, ne rendent que de 20 à 34 pour 100, il est difficile d'admettre avec M. Jassenne que sa turbine rende trois fois plus, c'est-à-dire au moins 60 pour 100. Cependant, il est certain pour nous que si la turbine à air était étudiée dans la forme et le règlement de ses ailes, et dans sa construction générale, on pourrait arriver à des rendements presque égaux à ceux des turbines hydrauliques, c'est-à-dire à peu près 60 pour 100.

M. Jassenne paraît dans ses calculs compter sur 70 pour 100.

D'après cet inventeur, des turbines de $1^m.75$, $2^m.25$ et $3^m.50$ de diamètre donneraient en eau élevée, pour l'année entière, respectivement 356, 801 et 1427 tonnes kilométriques.

Par seconde, ce serait pour ces trois turbines 25, 57 et 102 kilogrammètres, ou en chevaux-vapeur à peu près un tiers, moitié et un et quart de cheval-vapeur.

Une turbine de ce genre a été installée à Corbeil, dans la propriété de M. Tandon, vers 1860, et d'autres en différents points depuis plus longtemps.

Par un vent de 21 mètres, d'après M. Jassenne, les trois turbines des diamètres ci-dessus rendaient 3.17, 7.15 et 12.71 chevaux. Ce serait un magnifique résultat.

La première de $1^m.75$ de diamètre, qui en travail moyen annuel donnerait un tiers de cheval-vapeur, coûte 2,300 fr., sans compter les frais de transport et le montage ; bien que celles de $2^m.25$ valant plus d'un demi-cheval, et celle de $3^m.50$ valant 1 cheval 16, coûtent seulement 500 et 1,600 francs de plus, soit 2,800 et 3,900 francs, c'est encore trop cher, et nous croyons qu'il est possible d'établir de bonnes turbines aériennes à des prix moindres. Ce serait 23,000, 14,000 et 10,000 francs par cheval-vapeur (moyenne annuelle), ou au minimum 6,000 4,000 et 3,000, et au maximum 365,000, 200,000 et 156,000 francs.

119. Le tableau suivant indique la base des calculs de M. Jassenne :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VITESSE du vent en mètres par seconde.	DURÉE PROPORTIONNELLE des vents utilisables selon leur vitesse et par rapport à leur durée générale de 4088 heures par année.		TRAVAIL en kilogrammes élevés à un mètre par seconde pour turbines de diamètres de			FORCE OU TRAVAIL en CHEVAUX-VAPEUR pour des turbines de diamètre égal à		
	Nombre d'heures.	Tant pour cent.	1.50	2.25	3.50	1.50	2.25	3.50
						ch.		
2	818	20	0.47	1.06	1.88	0.0063	0.01413	0.02507
3	736	18	1.43	3.21	5.73	0.0204	0.0428	0.0761
4	612	15	3.11	7.04	12.55	0.0319	0.0938	0.1673
5	491	12	5.62	12.60	22.50	0.075	0.1680	0.3000
6	409	10	8.90	20.00	35.60	0.1187	0.2666	0.4747
7	327	8	12.80	28.70	52.10	0.1707	0.383	0.69467
8	286	7	17.20	38.30	68.20	0.2293	0.51067	0.90933
9	245	6	21.10	48.00	86.00	0 2852	0.6400	1.14666
10	164	4	27.50	52.20	102.00	0.3666	0.696	1.36000
Total..	4088	100						
Moyenne proportionnelle du rendement.....			7.00	14.55	27.73	0.09333	0.191	0.36973

120. On le voit, M. Jassenne se base sur ce que les vents utilisables par sa turbine, c'est-à-dire ceux qui ont une vitesse comprise entre 2 mètres et 10 mètres par seconde, soufflent pendant 4,088 heures sur les 8,760 de l'année entière, soit pendant les 466 millièmes du temps.

Les vents auraient d'autant plus de durée dans l'année que leurs vitesses seraient moindres (deuxième colonne), et cela presque proportionnellement ; c'est-à-dire que sauf pour les vents faibles et les vents très-forts la vitesse du vent multipliée par le nombre d'heures qu'il souffle est un nombre presque constant et en moyenne égal à 2,250.

121. La force de la première turbine, suivant la vitesse du vent, varie entre 6 et 367 millièmes de cheval, et la moyenne annuelle proportionnellement au nombre d'heures que souffle chaque vent est de 93 millièmes de cheval seulement.

La turbine de 2m.25 de diamètre a une force comprise entre 14 et 696 millièmes de cheval, suivant la vitesse du vent, et en moyenne proportionnelle 194 millièmes.

La turbine de 3m.50 de diamètre varie entre 25 et 1360 millièmes de cheval, et en moyenne 369 millièmes.

La moyenne proportionnelle correspond donc à la force qu'aurait le moulin, si le vent soufflait toujours avec une vitesse de 5m.413, 5m.263 et 5m.4, ou en moyenne pour les trois turbines 5m.36 qui souffle pendant 461 heures 5 chaque année, ou pendant les 11.64 pour 100 du temps total du vent.

CHAPITRE TROISIÈME.

EXAMEN DES MOULINS A VENT A AXE HORIZONTAL, EXPOSÉS EN 1867.

§ 1. — Moulin Thirion.

122. Le moulin à vent de M. l'abbé Thirion, à Aische-en-Refail (Belgique), était exposé par la Société minière de Chatelineau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant toute la durée de l'Exposition, ce moteur (fig. 20) a fonctionné sans dérangement ni rupture, et rien dans sa disposition ne peut faire supposer qu'il n'en serait pas constamment ainsi. L'inventeur affirme qu'un moulin de ce genre, établi chez lui depuis quelques années, ne laisse rien à désirer, ni comme bon fonctionnement, ni comme solidité.

Ce moulin s'oriente de lui-même, parce qu'il reçoit le vent en dedans, et fait ainsi fonction de girouette; un contre-poids placé à l'extrémité de l'arbre horizontal des ailettes leur fait équilibre, et l'ensemble peut tourner facilement sur une plate-forme par l'intermédiaire de galets.

Chaque aile a la forme d'un très-long trapèze, presque d'un triangle, et est fixée par sa plus étroite extrémité dans le moyeu par un petit tourillon qui lui permet de tourner comme une lame de persienne.

D'un autre côté, elle est articulée à l'aide de charnières, dont l'axe continue celui du tourillon, à un grand cercle en fer, fixe, et, du côté opposé, par une petite bielle articulée des deux bouts à un second cercle mobile.

Ce dernier cercle est lui-même relié au premier par l'intermédiaire de deux grandes bielles, portant des contre-poids convenablement calculés.

Si, le moulin étant en marche, sa vitesse vient à augmenter parce que le vent est trop fort ou la résistance trop faible, les bielles à contre-poids tendent à s'écarter de l'axe de rotation du moulin, et elles entraînent le cercle mobile, qui lui-même entraîne toutes les petites ailes par leurs bielles et les ferme, pour qu'elles offrent moins de prise au vent.

Si le contraire arrive, c'est-à-dire si la vitesse diminue parce que le vent est trop faible ou la résistance trop forte, les bielles à poids tendent à se rapprocher de l'axe de rotation, et le cercle mobile se rapprochant du cercle fixe ouvre les ailes pour qu'elles présentent plus de surface au vent. Si ce dernier est trop fort pour la résistance du moulin, les ailes s'effacent complétement, et en frappant l'air normalement elles servent de frein.

Ainsi, les ailes s'ouvrent et se ferment suivant que le vent augmente ou diminue de force, si la résistance est régulière. Les moyens employés pour ce règlement automatique sont des bielles et des poids, ce qui est tout à fait pratique. On peut en effet donner à ces pièces la force nécessaire pour résister aux grands vents de certaines régions : le bord de la mer, par exemple. Les agents atmosphériques, autres que le vent, n'ont aucune influence sur le mécanisme. Nous croyons donc pouvoir recommander le moulin Thirion.

Si les moulins sont destinés à faire mouvoir des pompes, ils coûtent 1200 fr. pour la force de deux chevaux, capable d'élever à 10 mètres de hauteur 7 litres 5 d'eau par seconde, ou 15 litres à 5 mètres, ou enfin 1 litre à 75 mètres. Pour chaque cheval en plus, 400 fr.

Au Champ de Mars, le moulin Thirion était disposé pour conduire une paire de meules placées d'après un système nouveau, inventé dans le but de mettre la conduite du moulin à la portée de l'homme le moins expérimenté.

§ 2. — Moulin de M. Henri Lepaute.

123. Le moteur aérien de M. Henri Lepaute, rue de Vaugirard, 161, à Paris, est l'application du principe que nous signalions tout à l'heure; on obtient la force par l'augmentation du nombre des ailettes, au lieu de la chercher dans la grandeur du rayon et la largeur de quatre ailes seulement.

M. H. Lepaute a voulu surtout construire des moulins à vent très-légers et de petites dimensions, présentant toutefois au vent une prise suffisante pour qu'ils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tournent utilement sous des brises très-faibles, tout en résistant par leur *finesse* aux orages d'équinoxes.

Depuis 1858, plusieurs moteurs à vent du système Lepaute fonctionnent avec succès et sans accidents. L'eau est puisée dans un puits ou dans un réservoir quelconque par une ou deux *norias* dont les augets ne contiennent que de 0.600 à 2 kilog. d'eau. Ces norias sont très-légères, et leurs augets sont réunis par des charnières spéciales d'une très-grande solidité. Un mécanisme à embrayage porte la noria et lui transmet le mouvement du moteur aérien.

Ce dernier est composé d'un volant en bois à 16 ailes fixes sur le moyeu et d'un gouvernail également en bois destiné à orienter le moulin automatiquement. Le diamètre des volants employés jusqu'à ce jour varie de 2 mètres à $2^{m}.50$.

La volée est mobile autour de l'armature conique en tôle (fig. 21) qui la porte et qui se place au sommet d'une tour ou d'une charpente afin de l'élever à une hauteur suffisante pour recevoir librement l'action du vent. A l'aide d'engrenages le moulin transmet le mouvement à la noria, ou plutôt au tambour qui la porte.

Toutes les parties mobiles de ce moulin sont pourvues d'orifices d'un accès facile pour le graissage, afin de ne jamais laisser aucune pièce sans huile, condition indispensable à toutes les machines pour leur bon fonctionnement.

124. Lorsque la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée dépasse 12 mètres, on doit employer un relai afin de diminuer le poids de la noria qui charge l'axe du tambour qui la porte. Un premier mécanisme élève l'eau du puits au niveau du sol ou un peu plus haut, d'où elle est reprise par une seconde noria qui l'élève au sommet de la tour.

On peut mettre en mouvement les deux tambours des norias par un même moulin, mais on n'obtient alors qu'un très-faible rendement; aussi vaut-il beaucoup mieux placer sur la tour deux moulins.

Le moulin à double effet (fig. 22), exposé au Champ de Mars en 1867, fonctionnait depuis 1866 dans les ateliers de M. H. Lepaute, 161, rue de Vaugirard, à Paris. Il présente une disposition mécanique assez remarquable. Les deux moulins sont l'un au-dessus de l'autre. Celui qui est placé dans la sphère en fer forgé portant le moulin supérieur est mobile autour de l'axe de ce dernier moulin, et cependant parfaitement indépendant de lui.

Au-dessous du plancher de cette sphère à jour, les deux transmissions se séparent pour aller donner le mouvement chacune à un tambour de noria.

A cette disposition, on peut en substituer une plus simple et moins coûteuse en ce qu'elle évite la construction en fer, de forme sphérique, qui porte le moulin du haut.

Sur le sommet de la tour, supposée carrée, on installe en deux points opposés deux moulins dont chacun met en mouvement un mécanisme particulier.

125. L'emploi des norias présente sur celui des pompes des avantages considérables. La noria étant retenue par un cliquet ne peut rétrograder si le moulin à vent vient à s'arrêter ou à tourner au rebours, ce que permet un encliquetage placé sur la transmission. Aussi, dès que le moulin vient à tourner, il élève de l'eau et travaille utilement.

Dans les pompes, au contraire, quelque bien exécutées qu'elles soient, le piston ne garde jamais l'eau longtemps, et le moulin fait souvent plusieurs tours avant d'élever une goûtte d'eau. De plus, l'entretien des pompes est fort dispendieux, tandis que celui des norias est presque nul.

Enfin, les pompes donnent lieu à des frottements croissant très-rapidement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec la hauteur de la colonne d'eau à élever et ces frottements absorbent une très-grande partie du travail du moulin.

Avec les pompes, le rendement ne peut guère dépasser, d'après nos essais de Billancourt sur une douzaine de pompes, 55 à 60, tandis qu'avec les norias on peut atteindre et même dépasser 90 pour 100.

126. Le prix d'un moulin pouvant élever 600 litres à l'heure à 12 mètres, serait de 4,500 fr.; et deux moulins élevant ensemble la même quantité à une hauteur double, coûteraient 9,000 fr.

Le premier représente sur l'arbre de sa volée un travail moteur disponible de 8,000 kilogrammètres par heure, ou $2^{kgm}.222$ par seconde; le moulin à double effet représente naturellement le double, soit $4^{kgm}.444$, ou moins de six centièmes de cheval-vapeur.

CHAPITRE QUATRIÈME.

MOULINS SE RÉGLANT PAR LA VARIATION DU TRAVAIL UTILE.

§ 1. Du règlement des moteurs à vent par le travail utile.

127. Nous avons vu que dans les bons moulins à axe horizontal les ailes se réglaient d'elles-mêmes, suivant la force du vent, de manière à présenter, par rapport à la direction du vent, un angle d'autant plus petit que sa vitesse est plus grande.

On obtient par ce moyen une force motrice constante à toutes les vitesses du vent. Mais à supposer que le travail utile soit calculé pour la moyenne force du vent ou $5^{m}.36$ par seconde, on pourra obtenir cet effet avec des vents inférieurs à la moyenne si les ailes ont une surface beaucoup plus grande que celle qui serait nécessaire pour un vent de $5^{m}.56$, et ces larges ailes s'effaceront pour des vents supérieurs à la moyenne.

128. Le nombre d'heures pendant lequel le moulin pourra marcher chaque année sera d'autant plus grand que les ailes seront plus larges, relativement à ce qu'exigerait le travail utile en vent moyen, et que les frottements de la machine seront moindres. Il y a donc un vent minimum qui ne peut donner le moindre travail utile, et un autre vent auquel le travail utile demandé ne peut être fait.

Par conséquent, si le travail utile doit être constant, il ne peut être fait qu'entre des vitesses de vent assez rapprochées, même avec un bon règlement de l'inclinaison ou de la surface des ailes.

Pour des vents par trop faibles, la force motrice ne peut donner la vitesse convenable; pour des vents trop forts, la vitesse au contraire est trop grande.

129. Il résulte de ces observations que, pour profiter le mieux possible du vent, il faudrait régler non-seulement l'inclinaison et la surface des ailes suivant la force du vent, mais encore le travail résistant utile.

C'est ce que l'on fait presque toujours.

Si l'on moud du blé, on règle l'alimentation des meules de façon qu'il passe plus de grain entre les meules quand le vent est plus fort, et moins s'il est plus faible.

On peut même avoir plusieurs paires de meules de diamètres différents : on embraye la plus petite, la moyenne ou la grande suivant la force du vent, et même on peut les embrayer deux à deux, et enfin toutes les trois à la fois, ce qui donne sept grandeurs différentes de travail résistant utile, même en supposant une alimentation des meules absolument uniforme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si le moulin est employé à scier des planches, on peut non-seulement régler la vitesse d'avancement du tronc d'arbre contre les scies, mais faire marcher un deux, trois châssis, etc., suivant la force du vent.

Plus le nombre des appareils à scier sera grand, plus leurs dimensions seront variées, plus il y aura de facilité pour proportionner la résistance utile à vaincre à la force variable du vent.

Si le moteur aérien doit élever de l'eau à une hauteur donnée, il y a deux moyens pour faire varier la somme de travail utile : 1° augmenter ou diminuer le nombre de coups de piston par tour de moulin; 2° faire varier la course du piston.

130. Bien qu'il ne soit pas difficile de trouver des mécanismes pour le premier mode de règlement de la quantité d'eau élevée, on préfère ordinairement faire varier la course du piston.

§ 2. — Moulins Bernard et Aubry.

131. La première idée de ce mode de règlement appartient, croyons-nous, à M. Bernard. Un régulateur centrifuge agit sur un levier qui règle la course : l'augmentant quand la vitesse augmente, la diminuant quand la vitesse diminue.

132. Au lieu d'employer, pour faire varier la course, le jeu d'un régulateur à force centrifuge, on peut utiliser l'augmentation de pression du vent sur les ailes, ou sur un éventail régulateur du même genre que celui qu'imagina M. Mauny, pour ouvrir les volets des ailes de son moulin.

C'est un moyen de ce genre que M. Aubry avait adopté dans le moulin qu'il exposait à Billancourt en 1867. Une bielle ou tringle mise en mouvement de va-et-vient par l'arbre de volée, agit par un cadre entourant la queue d'un levier auquel est articulée la tige du piston. Dans le cadre une plaque formant coin est d'autant plus attirée que le vent agit plus fort sur l'éventail régulateur, la hauteur du vide dans le cadre augmente donc avec la force du vent et diminue quand le vent faiblit ; le levier qui fait mouvoir la tige du piston décrit donc un angle d'autant plus grand que le vent est plus fort.

Par sa disposition spéciale, le mécanisme supprime les points morts, ce qui rend la mise en marche très-facile.

133. En outre, pour éviter les ruptures par les vents trop forts ou les bourrasques, les ailes s'effacent au delà d'une course de piston correspondant à la plus grande vitesse de vent utilisable sans danger. Les ailes sont retenues par un ressort qui fléchit pour les grands vents : nous avons déjà signalé l'incertitude de l'action de ce ressort dans les très-grands vents.

Il convient du reste que dans tout moulin à vent, réglable ou non, les ailes puissent céder et s'effacer pour les grands vents. C'est le seul moyen d'éviter les ruptures. Un frein, ou toute augmentation de résistance agissant comme frein, ne fait qu'accroître les dangers de rupture.

CHAPITRE CINQUIÈME.

MOULIN A AXE DE ROTATION VERTICAL.

§ 1. A volée plane.

134. Nous avons déjà fait remarquer (n° 42) que lorsque la volée décrit à peu près un plan horizontal, le vent ne peut produire tout son effet qu'autant que les ailes s'effacent en revenant contre le vent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Vers 1821, M. Bordier imagina un moulin de ce genre assez original. Dans un arbre vertical en bois il perce une série de trous suivant une hélice. Dans ces trous sont enfilés de petits bâtons formant axe et terminés à chaque bout par une ailette : les plans des deux ailettes sont normaux l'un à l'autre, de façon qu'une aillette étant verticale, l'autre est horizontale. L'ailette verticale étant d'un côté de l'arbre vertical de rotation d'ensemble, le vent frappe contre et fait tourner le tout. Dès que l'ailette verticale a parcouru un demi-cercle, elle accroche un arrêt qui fait basculer son arbre d'un quart de tour, c'est l'ailette horizontale qui se redresse tandis que l'autre s'abaisse ; ainsi, en revenant contre le vent, chaque ailette agit par son tranchant. Comme il y a plusieurs étages d'ailettes doubles, il en résulte que sur l'un des côtés de l'arbre vertical, à gauche par exemple, les ailettes se présentent toutes verticalement et sont frappées par le vent sous des angles variables, mais toutes agissent comme ailettes motrices, et de l'autre côté, au contraire, toutes les ailettes reviennent en présentant leur tranchant au vent.

135. Au lieu d'ailettes se rabattant à chaque tour, on peut mettre une aile ployée en V, le vent la pousse par sa partie concave et elle revient contre le vent par sa partie convexe, qui éprouve beaucoup moins de résistance de la part de l'air que le vent n'a produit de pression précédemment sur la partie concave.

136. Enfin les plaques pliées en V peuvent être remplacées par des espèces de bonnets ou de cônes recevant la pression du vent par leur face concave et revenant contre le vent par leur partie convexe, pointue même.

137. Malgré les diverses modifications et perfectionnements que l'on pourrait apporter à ces divers systèmes, il est visible qu'ils utilisent moins bien la puissance du vent que les moulins à axe horizontal bien établis : d'abord, parce qu'on ne peut éviter que les ailes tournant dans un plan horizontal ne fassent pendant une portion de chaque tour fonction de résistance, ou du moins ne s'équilibrent deux à deux pendant une petite portion de chaque tour ; ensuite, parce que les ailes ne reçoivent pas l'air sans choc. Enfin, il n'est guère facile de régler leur surface active suivant la force du vent.

§ 2. Moulin à axe vertical et volée cylindrique.

138. La volée se compose de bras horizontaux au nombre de quatre, ou même davantage, portant à leur extrémité chacun un mât vertical, sur lequel est placée l'ailette ou la voile motrice.

139. M. Romani, vers 1818, en avait fait un de ce genre. Sur les mâts de 3 pieds de hauteur étaient enfilés des rouleaux creux en bois, sur lesquels était cloué un des côtés des voiles triangulaires. En faisant tourner chaque rouleau dans un sens on enroule la voile, ce qui diminue sa surface active, et dans le sens contraire on déplie la voile pour augmenter la surface motrice. On pouvait opérer ce règlement de l'intérieur du moulin à l'aide de poulies placées sur les rouleaux des voiles et de cordes passant sur ces poulies, et d'autres de renvoi.

Ainsi, suivant la force du vent, on réglait à la main la surface active des voiles.

En outre, dans chaque tour de la volée, chaque aile s'effaçait au retour devant le vent.

Pour cela le bout pointu de chaque voile triangulaire « est attaché à une vergue mobile par un bout, et par l'autre extrémité, de chaque bras au moyen d'une charnière. Les voiles peuvent ainsi prendre ou refuser le vent selon l'angle qu'elles forment avec lui, et prêtent un levier bien plus long à l'action du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vent, du côté où elles tournent, que le levier qui oppose sa résistance au retour. »

140. A la même époque, M. Ormeaux faisait un moulin du même genre, sauf que les voiles triangulaires étaient remplacées par des ailettes : elles pivotaient sur elles-mêmes de façon que sur six il y en avait toujours trois soumises à l'action du vent, et trois revenant en présentant leur tranchant contre le vent.

§ 3. Moulin à axe vertical mixte.

141. En supposant que les bras horizontaux du moulin Romani portent des mâts descendants en même temps que les mâts ascendants, on aura des ailes hautes et larges qui rappelleront les deux précédentes espèces.

Le seul moulin de ce genre que nous connaissions est celui de M. Lefebvre, datant de 1819. Les voiles tout à fait étendues (fig. 23) ont la forme de triangles isocèles allongés, dont le sommet est vers l'axe vertical de rotation ; la bissectrice de ce triangle est horizontale ; la base porte sur toute sa longueur des anneaux qui lui permettent de glisser le long du mât vertical dont les deux extrémités sont comprises entre des rayons moisés qui le relient à l'axe en encadrant les voiles. L'anneau inférieur (fig. 22) est lié à une corde qui passe sur quatre poulies de renvoi et dont les deux extrémités sont fixées sur un petit treuil. Lorsque l'on fait tourner à l'aide d'une manivelle le treuil d, la corde b se meut en entraînant l'anneau qui s'y trouve fixé, de sorte que, suivant le sens de la rotation, la voile se ploie ou se déploie.

Les voiles, au nombre de six, n'étant pas absolument tendues, s'effacent d'elles-mêmes quand elles reviennent contre le vent, ou du moins se présentent au plus près du vent.

L'Exposition de 1867 ne nous a présenté qu'un moulin à axe vertical de la première espèce, exposé à Billancourt, et qui ne paraît pas digne de nous arrêter.

142. La conclusion de cette étude peut être énoncée en quelques lignes.

La puissance motrice du vent n'est pas assez estimée des mécaniciens. Elle n'a pas la constance et la régularité nécessaires dans beaucoup de travaux, mais elle a sur la vapeur et les animaux l'avantage de ne rien coûter, que les frais d'établissement du récepteur.

Elle doit céder le pas à l'eau dans nombre de situations ; mais combien de localités en plaines ou sur plateaux n'ont aucun courant d'eau utilisable, tandis que le vent est à discrétion ! Nous avons décrit plusieurs moulins ou turbines recommandables : que les mécaniciens les perfectionnent, et ils trouveront à les appliquer beaucoup plus fréquemment qu'ils ne le croient.

J.-A. GRANDVOINNET.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXVI

CHARRONNAGE ET CARROSSERIE

PAR M. MICHEL ROUS

Capitaine d'artillerie.

Pl. 242, 243, 244, 256, 257, 258.

CHAPITRE PREMIER.

Préliminaires. — Transports effectués par l'homme.

Le déplacement et le transport des fardeaux constitue la plus grande partie du travail que les hommes doivent accomplir. Aussi aucune question n'a autant exercé leur intelligence.

TRANSPORT DES FARDEAUX PAR LES HOMMES. — PROCÉDÉS DIVERS. — Les premières inventions dont nous profitons aujourd'hui ont dû être amenées par la nécessité de déplacer des objets trop lourds pour la force d'un seul. Plusieurs hommes unirent leurs efforts; quand l'objet était d'une forme qui ne donnait pas facilement prise aux mains, on imagina de le placer sur deux branches d'arbres; le brancard et la civière étaient trouvés. On comprend que de la même manière les difficultés aient conduit à l'emploi de la traction qui permettait de déplacer les corps sans en supporter tout le poids, et qui avait en outre l'avantage de se prêter à la multiplication des forces, un grand nombre de travailleurs pouvant agir dans le même sens en tirant sur des cordages. Des circonstances analogues amenèrent l'invention du levier et le déplacement par roulement des arbres ou d'autres corps dont la forme rendait ce mouvement possible.

L'emploi des rouleaux est dû aussi sans doute à ce que beaucoup de gens appellent le hasard, et qui n'est pourtant que l'enchaînement naturel des faits et la mise en œuvre de l'intelligence qui observe, compare et apprécie ; ce fut un immense progrès. Les rouleaux sont encore employés, et ils donnent le moyen le plus avantageux pour le déplacement des lourds fardeaux à de courtes distances.

C'est à l'aide de rouleaux et de la traction effectuée par des ouvriers nombreux agissant sur des cordages qu'on a pu, dans une antiquité reculée, transporter au loin des blocs énormes et réaliser des travaux qui excitent encore aujourd'hui l'admiration, et qui nous étonnent quand nous calculons le temps et le travail qu'ils ont coûtés.

La traction simple ou l'emploi des rouleaux ne pouvaient convenir qu'à des objets très-résistants et présentant un certain volume. Pour transporter à la fois un grand nombre d'objets fragiles ou de petits objets, on dut imaginer un support qui subissait seul l'action du frottement. Ce support, formé de plusieurs pièces de bois assemblées ou entrelacées, fut la *claie* ou le *traîneau* dont les formes varièrent avec le temps et les climats; mais on est forcé de voir dans cette application la création du premier corps de voiture. La claie ou le traîneau sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en relation trop intime avec la civière pour que la première de ces inventions n'ait pas aidé à réaliser la seconde.

De nouveaux efforts d'imagination conduisirent à fixer les rouleaux à un corps qui supportait les fardeaux, puis à remplacer les rouleaux par des disques pleins liés à un essieu qui tournait. On peut se faire une idée probablement assez exacte du mode d'assemblage du corps de voiture et de l'essieu dans les systèmes primitifs, en examinant les chariots de la Turquie et du Caucase; chaque brancard porte à sa partie inférieure deux chevilles verticales entre lesquelles l'essieu rond est compris; la voiture est ainsi simplement posée sur l'essieu que supportent les roues.

Lorsqu'on examine les divers procédés employés dans des pays à des degrés très-différents de civilisation, on arrive non pas à démontrer, mais à se convaincre que les divers éléments des voitures ont été des inventions isolées et successives. On a inventé séparément le corps de la voiture, claie, traîneau ou civière, pouvant isoler du sol les objets à transporter, les rouleaux qui exigeaient moins d'efforts; on a fixé un rouleau par des tourillons à deux pièces de bois pour obtenir la première voiture. Plus tard, l'expérience a démontré qu'il y avait avantage à augmenter le diamètre des rouleaux; on a été conduit à employer deux disques fixés à l'extérieur et réunis par un essieu. A la suite sont venues des roues massives de plusieurs pièces, puis les roues élastiques formées de rayons ou rais, d'un moyeu et d'une couronne en bois. Plus tard, l'emploi du fer pour consolider les roues, pour faire les essieux, les ressorts, etc., est venu augmenter à la fois le nombre des éléments et la perfection des voitures.

En résumé, les moyens que les hommes ont imaginés pour transporter les fardeaux sont :

1° Le transport direct par un ou plusieurs hommes, s'appliquant directement au fardeau;

2° Le transport, par deux ou plusieurs personnes, d'un objet suspendu à une perche ou supporté par deux brancards;

3° Les rouleaux supportant l'objet que l'on fait avancer au moyen de leviers ou que l'on tire avec des cordages;

4° Le fardeau est porté en partie sur une ou deux roues fixées à deux brancards auxquels l'homme applique sa force; l'homme supporte une partie du poids et exerce un effort de traction ou bien il pousse devant lui. C'est la brouette, le diable, etc.;

5° Le fardeau est placé sur une voiture et à peu près équilibré de manière que l'homme n'a qu'à exercer un effort de traction et qu'il ne supporte pas le poids du fardeau.

Transport direct des fardeaux.

Lorsqu'il s'agit d'une distance horizontale qui ne dépasse pas 4 mètres, pour certains terrassements ou pour charger des pavés ou des moellons, par exemple, sur une voiture, on soulève successivement une partie du poids à la main ou avec une pelle, et on le lance à la distance convenable. Ce procédé oblige à soulever les objets qu'il faut déplacer; il exige un déploiement de forces pour la projection; aussi n'est-il avantageux que dans des limites étroites.

Pour des déplacements plus considérables, l'homme porte les fardeaux sur la tête, ou sur le dos. Le transport sur la tête, le porteur conservant sa position naturelle, le corps droit, convient très-bien pour des poids modérés; dans les pays où il est en usage, comme dans le midi de la France, on voit des femmes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aller chercher de l'eau quelquefois assez loin dans de lourdes cruches, s'arrêter pour causer entre elles et conserver une grande liberté de mouvements, qu'on ne retrouve pas dans les autres modes de chargements.

On porte aussi des fardeaux sur le dos, le corps incliné, mais en s'aidant d'une sangle qui porte sur le front, de sorte que l'homme agit un peu, dans ce cas, à la manière du bœuf tirant une charrette.

Nous pouvons encore citer l'emploi des courroies qui fixent le fardeau sur le dos de l'homme, comme le sac de nos soldats. Mais ce moyen, qui permet d'aller à de grandes distances avec un poids modéré, oblige à se courber un peu en avant pour que le centre de gravité ne soit pas déplacé ; on ne peut pas le considérer comme parfait. Lorsque le poids devient considérable, il devient nécessaire de protéger le dos par une espèce de bât, comme le châssis qu'emploient les commissionnaires parisiens. Les *hammals* ou portefaix turcs ont un appareil semblable qui est massif et beaucoup plus lourd.

Un poids placé sur une épaule ou sur le dos oblige toujours l'homme à courber son corps, soit de côté, soit en avant, pour conserver son aplomb. Cette position anormale impose une fatigue en dehors du poids qu'il faut supporter. Aussi, lorsqu'un poids est assez lourd pour que cette déformation de la stature soit prononcée, l'homme ne peut pas le porter loin.

Le tableau suivant indique la quantité de travail que peut fournir l'homme dans diverses conditions :

NATURE DU TRANSPORT.	POIDS transporté.	VITESSE moyenne par seconde.	DURÉE du travail.	TRAJET parcouru dans la journée.	NOMBRE de kilogrammes transportés à 1 mètre.
1° Un homme marchant sur un chemin horizontal n'ayant à transporter que le poids de son corps...	65kg	1m.50	10	54km.	3 510 000
2° Un homme voyageant en portant 40 kilogrammes sur son dos...	105kg	0m.75	7	18km.900	756 000
3° Un manœuvre transportant 65 kilogrammes de matériaux sur son dos et revenant à vide chercher une nouvelle charge.....	97kg	1m.00	10	36km.000	702 000
4° Un manœuvre jetant de la terre à la pelle à 4 mètres de distance horizontale.....	2kg.700				64 800
5° Un manœuvre transportant des matériaux dans une petite charrette ou camion à deux roues et revenant à vide.....	100kg	0m.50	10	18km.000	1 800 000
6° Transport avec une brouette et retour à vide.....	60kg	0m.50	10	18km.000	1 080 000
7° Un manœuvre transportant des fardeaux sur une civière et retournant à vide.....	50kg	0m.33	10	11km.880	594 000

Deux ou plusieurs hommes peuvent réunir leurs efforts pour porter un objet fixé à une perche ou supporté par une civière. Dans ce dernier cas, ils tirent un grand secours de l'emploi de bretelles qui font porter le poids sur les épaules et empêchent une tension des bras qui devient promptement insupportable.

BROUETTE. — La brouette, dont l'invention assez récente est due au célèbre Blaise Pascal, constitue la transition entre la civière ou le palanquin et les voitures. L'homme supporte encore une partie du poids en s'aidant le plus souvent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de bretelles ; l'autre partie est supportée par la roue qui tourne autour de deux tourillons. L'homme a un triple effort à exercer : 1° il porte un poids ; 2° il pousse le véhicule ; 3° il le maintient en équilibre. Malgré cela, la brouette présente les plus grands avantages pour les transports à faible distance ; le déchargement se fait rapidement d'un seul coup en la renversant sur le côté ou en avant, dans le cas des terrassements, par exemple. L'emploi d'une seule roue permet de passer sur un madrier servant de pont ou dans des sentiers étroits inaccessibles aux voitures.

Ajoutons que le frottement des tourillons de la roue est peu considérable, et qu'il suffit d'un faible effort pour déterminer le roulement. Plusieurs types de brouettes sont en usage ; en général, elles sont d'autant plus commodes que le centre de gravité du fardeau est moins élevé.

Les Chinois ont inventé, de leur côté, la brouette ; mais ils paraissent l'établir dans des conditions différentes et favorables aux transports à grandes distances. La roue, plus grande, est située presque au milieu de la longueur des brancards ; le chargement est disposé de chaque côté, et le centre de gravité peut passer très-près du point d'appui de la roue sur le sol. L'homme n'a ainsi que peu à porter et on voit qu'il n'a pas besoin de bretelles ; il suffit qu'il prévienne les oscillations latérales, et qu'il pousse devant lui un appareil qui peut bien rouler quand le terrain est ferme et uni. Cette brouette doit rendre de grands services dans un pays comme la Chine qui n'a que de mauvaises routes ; mais elle ne pourrait pas se prêter facilement aux nombreuses applications que nous faisons des nôtres.

Au lieu d'une roue unique, supposez-en deux dans la brouette chinoise, et vous aurez une voiture à bras, dont l'emploi est si fréquent dans les villes. On les pousse ou on les tire ; dans ce dernier cas, l'homme s'attelle quelquefois réellement au moyen de bretelles, et il fait effort, le corps penché en avant, à la fois par son poids et par l'action des jarrets. On ne peut considérer cet emploi des voitures que comme relativement moderne et très-postérieur au tirage effectué par les animaux. En effet, même pour d'assez faibles chargements, ce procédé n'est praticable qu'avec des voitures légères, bien construites et sur d'excellents chemins.

EMPLOI DES FORCES DES HOMMES POUR DÉPLACER DE LOURDES VOITURES. — Dans certains cas les forces unies de plusieurs hommes peuvent s'appliquer utilement, pour un faible parcours, aux plus lourds véhicules, soit pour suppléer l'attelage dans des tournants, soit pour aider les chevaux dans un terrain difficile. Le moyen le plus simple est de faire face aux roues et d'agir sur les rais de manière à déterminer la rotation ; mais on ne peut mettre qu'un homme à chaque roue. On peut aussi engager des leviers entre les rais à la partie antérieure, et faire tourner les roues en prenant un point d'appui au-dessous des brancards et pesant sur les rais ; en même temps d'autres hommes peuvent agir sur le derrière des roues avec des leviers dont la pince porte sur le sol.

Les *pans de roue* permettent, lorsqu'on a de la place, de faire agir un grand nombre d'hommes tirant sur des cordages et de dégager une voiture dans beaucoup de cas difficiles. Le nombre d'hommes est proportionné au poids de la voiture et aux difficultés qu'offre le terrain. On attache un câble ou prolonge par un bout au rai le plus bas d'une roue de chaque côté de la voiture ; puis on la relève en arrière, en embrassant la jante, et l'on ramène le brin libre en dessus, en l'appliquant sur le bandage ou cercle des roues, dans la direction du mouvement. Les hommes tirent sur ces cordages, en ayant soin de faire effort dans le plan des jantes ; autrement le cordage échapperait et ils pourraient être ren-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

versés. Lorsque la roue a tourné de la moitié de sa circonférence, le rai qui était en bas se trouve en dessus, et il faut détacher la prolonge pour la replacer de nouveau, si l'on veut continuer à faire avancer la voiture. Mais très-souvent un avancement, quelque faible qu'il soit, suffit pour détruire l'adhérence des roues et rendre courage aux chevaux qui achèvent de se tirer d'embarras.

VÉLOCIPÈDES. — Pour terminer ce que nous avons à dire de l'utilisation des forces humaines pour le déplacement des fardeaux, il nous reste à parler des *vélocipèdes*, au moyen desquels un homme peut se transporter lui même avec rapidité et avec une fatigue moindre que celle de la marche, lorsque le terrain est suffisamment favorable.

On distingue deux sortes de *vélocipèdes* ou *véloces*, ceux à deux roues et ceux qui en ont trois, *bicycles* et *tricycles*.

Dans les premières, les roues restent verticales une fois qu'elles sont en mouvement en vertu d'un principe mécanique dont les enfants nous montrent tous les jours l'application au moyen du cerceau. On s'assoit sur une petite selle, les pieds appuyés sur deux étriers fixés à deux manivelles de l'arbre de la roue antérieure. Ces deux manivelles sont à angle droit, afin que l'une étant au point mort de son mouvement, l'autre puisse déterminer la rotation. On agit alternativement avec les deux pieds, ou en levant l'un pendant qu'on abaisse l'autre ; c'est un peu comme dans la marche.

Avec le bicycle, une vitesse ordinaire est de 12 kilomètres à l'heure, et la vitesse peut atteindre 20 kilomètres dans des conditions favorables ; un homme peut faire 80 à 100 kilomètres par jour plusieurs jours de suite. Avec les trois roues on peut faire de 8 à 12 kilomètres par heure.

L'économie de forces et la supériorité de vitesse qui résultent de l'emploi du vélocipède sont souvent très-mal expliquées dans le public. Nous venons de lire dans un journal le passage suivant :

« Ces résultats semblent donner un démenti aux lois de la physique et contredire l'axiome : Ce que l'on gagne en vitesse on le perd en force, et *vice versa*. Mais la contradiction n'est qu'apparente.

« La structure de l'appareil locomoteur de l'homme est telle, en effet, que, pour se transporter d'un lieu à un autre avec une médiocre vitesse, il doit dépenser une force très-considérable.

« Cela tient à ce que, dans le système de forces et de leviers qui constituent cet appareil, les forces, qui sont les muscles, sont presque toujours parallèles aux leviers à mouvoir, aux os, disposition très-défavorable au point de vue de l'utilisation des efforts dépensés.

« L'application la moins défectueuse de la force au levier a lieu à l'insertion du muscle du mollet sur l'extrémité de l'os du talon.

« Ici l'insertion est perpendiculaire. Mais le levier est encore mauvais, attendu que le bras de la force, constitué par la saillie du talon, est plus court que celui de la résistance, constitué par l'avant-pied.

« L'effort accompli par un marcheur pour se porter d'un mètre en avant est le même que celui employé par le vélocipède pour faire avancer son appareil d'un tour de roue, c'est-à-dire de 3 mètres au moins. »

Ces explications sont tout à fait inexactes. L'avantage consiste en ce que l'homme n'a plus à transporter son poids, qu'il n'a qu'à vaincre la résistance au roulement, qui est très-faible, et qu'il agit avec un mécanisme simple et bien combiné. Une manivelle fixée à une chape qui porte la roue de devant sert à changer la direction de cette roue pour tourner. En plus, le bicycle est muni d'un frein

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour s'arrêter, s'il est nécessaire, quand on arrive près d'un obstacle avec une trop grande vitesse.

Dans les vélocipèdes à trois roues, le siége est supporté par deux roues, ce qui donne au système la stabilité même au repos. Le mode d'action est toujours le même sur l'axe de la roue de devant, au moyen d'une double manivelle. On fait aussi des tricycles à deux places avec un double système de pédales.

Les roues du bicycle sont généralement bien construites, à la fois solides et légères ; les rais sont inclinés du dehors en dedans, alternativement de chaque extrémité du moyeu.

On croit pouvoir attribuer l'invention du vélocipède à Nicéphore Niepce, l'inventeur de la photographie.

Nous donnons ci-dessous les dimensions principales, poids et prix de divers types de vélocipèdes ; nous devons ces renseignements à l'obligeance de M. Sargent :

ESPÈCE DE VÉHICULE.	DIAMÈTRE DES ROUES DE		POIDS.	PRIX.
	devant.	derrière.		
	mètr.	mètr.	kil.	fr.
Véloce à deux roues.....	0.80	0.70	24	200
—	0.85	0.75	26	225
—	0.90	0.80	28	250
Véloce à trois roues.....	0.90	0.80	30	225
—	1.00	0.90	35	250
—	1.10	0.90	40	275

CHAPITRE DEUXIÈME.

Animaux employés au transport; harnachement.

La plupart des animaux que l'homme a su domestiquer ont été employés pour les transports. Suivant les circonstances, suivant aussi la conformation et le caractère des divers animaux, on a eu recours aux différents procédés que nous avons indiqués : le transport sur le dos, la traction des voitures ou la traction directe.

D'après la nature du procédé de transports auquel ils sont propres, on distingue ces précieux auxiliaires en animaux *de bât*, animaux *de trait*.

1° Animaux de bât : le chameau, l'éléphant, le mulet, l'âne, le cheval, le bœuf, le buffle, le lamas ;

2° Animaux de trait : le cheval, le bœuf, le buffle, le mulet, l'âne, le renne, le chien, etc.

On appelle chevaux *de selle*, ceux que leur conformation et leurs allures rendent spécialement propres à porter les hommes.

On nomme *harnachement* l'ensemble des pièces qui servent à lier les animaux de selle, de bât ou de trait au fardeau qu'ils doivent transporter, et aussi celles qui ont pour destination de les contenir ou de les protéger contre les frottements et les intempéries atmosphériques.

Harnachement des chevaux de selle.

Il se compose de deux parties : la *selle* et la *garniture* de tête.

La *selle* est formée d'un *arçon* généralement en bois, qui comprend une *arcade*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

formée de deux pièces réunies en haut de la *liberté de garrot* par une entaille collée ; deux *bandes d'arçon* réunies à l'arcade par des entailles à mi-bois ; un troussequin, entaillé pour recevoir les bandes sur lesquelles il est collé de champ, forme la partie relevée du derrière de l'arçon. L'arçon est *nervé* et *entoilé ;* une couche de nerfs de bœufs, étendue en travers du fil du bois est collée à la colle forte. Par-dessus on enveloppe toutes les parties de l'arçon avec des bandes de toile de lin collées sur le nervage et recouvertes de deux couches de colle forte. Cette opération se nomme *l'encurage*. Ainsi préparé et consolidé par des ferrures, l'arçon forme un ensemble à la fois solide et élastique, qui sert à préserver le garrot et l'épine dorsale du cheval.

Les figures 4, 7, 8, 9, 10 de la planche 258, représentent l'arçon d'une selle de troupe, après qu'il a été garni de ses ferrures. Nous citerons les noms de quelques ferrures :

a Deux *porte-étrivières à rouleau* fixés sur le côté de l'arçon : la *patte inférieure* de chacun est fixée par deux rivets sur la pointe d'arcade ; la *patte supérieure* repliée sur le bord supérieur de la bande d'arçon est fixée par un rivet sur cette bande.

b Bande de garrot appliquée sous l'arcade (fig. 9) par seize rivets : *c contre-bande de collet*, appliquée sur le dessus de l'arcade ; *f* deux *équerres de troussequin* (épaisseur 0m.5), appliquées contre le derrière du troussequin et sur les parties d'arçon ; *d* deux *bandelettes de dessus de troussequin*, etc.

Sur l'arçon ainsi consolidé on dispose le *faux siége* qui comprend : une *sangle croisée* placée au milieu de la longueur en écartant un peu les bouts, le pli cloué sur le devant de la tête d'arcade, les bouts sur le devant du troussequin, laissant entre eux un intervalle de 7 à 8 centimètres ; une *sangle-traverse* dont les bords sont cousus à la sangle croisée et les bouts cloués sur les bandes d'arçon vers leur milieu ; une *toile de faux siége* clouée sur les bandes d'arçon, sur l'arcade en avant de la bande de collet et contre le devant du troussequin ; deux *mamelles* ou fourreaux en basane ou toile remplis de bourre, clouées au pied du troussequin, près des bords extérieurs des bandes d'arçon ; une *toile de matelassure* fortement tendue, recouvrant tout l'arçon ; enfin une *matelassure* de bourre de bœuf ou de veau (370 grammes) introduite de force entre le faux siége et la toile de matelassure par une fente ménagée au milieu de cette toile.

La selle reçoit ensuite un *siége* en cuir, étendu mouillé, cloué provisoirement derrière le troussequin, sous les bandes d'arçon et sur l'arcade ; cette pièce, fortement tendue et séchée en place, prend la forme convenable. Puis on la détache de l'arçon, on découpe les bords qui sont réunis aux *quartiers* latéraux par une couture.

Le siége est ensuite fixé sur l'arçon d'abord par quatre vis à bois, à tête ronde ; puis il est fortement tendu avec des pinces jusqu'à ce qu'il porte bien sur la matelassure, et les tirants sont alors cloués au-dessous des bandes ; le derrière du siége est découpé suivant le contour du troussequin.

La selle est fixée sur un cheval au moyen de sangles qui passent sous le ventre. La selle est encore fixée en avant au moyen d'un poitrail (fig. 10, pl. 257), et d'une croupière (fig. 9, pl. 257) dont le *culeron* (rempli de 40 grammes de bourre, et la couture en dehors) embrasse la queue du cheval.

Tout ce que nous venons de dire se rapporte à l'un des modèles de selles destiné à l'artillerie. Nous avons choisi ce type comme accusant nettement les détails de construction et les dispositions nécessaires pour que le système soit solide avec un poids modéré et ne blesse pas les chevaux.

Quoique les matières employées pour la construction des divers modèles de selle ne soient pas toujours les mêmes, on retrouve toujours la même série de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pièces. Dans les selles anglaises, qui sont devenues chez nous d'un usage général, le troussequin est moins élevé; en général le siége est en peau de truie qui présente beaucoup plus de résistance que la vache. La croupière et le poitrail sont supprimés. Les sangles sont en tissu croisé de laine ou de fil au lieu d'être en cuir.

La *garniture de tête* comprend un système de courroies qui embrassent la tête du cheval et supportent le mors sur lequel le cavalier agit au moyen des rênes pour contenir sa monture. Pour l'armée, la garniture de tête comprend une *bride*, un *bridon-licol*.

La bride (fig. 8, pl. 257) se compose des parties suivantes :

1° *Têtière* : a *dessus de tête*, avec une *gourmette* b de rechange ; c *frontal* ; d, *sous-gorge*; e *montants* qui supportent le *mors*.

2° *Mors* de bride, en fer forgé, fabriqués en trois grandeurs. Une *embouchure* où l'on distingue la *liberté de langue* g et les *canons* f f, qui agissent sur les *barres* ou gencives du cheval ; les *branches* h h, qui servent de bras de levier pour augmenter la puissance d'action du cavalier ; une *entretoise* k ; une *gourmette* l.

3° Les *rênes* fixées aux anneaux des branches du mors.

Le *bridon-licol* (fig. 11) a beaucoup de parties pareilles aux pièces de la bride et portant les mêmes noms ; nous signalerons les différences.

m *dessus de nez* ; n *boucheteau de sous-barbe* et son *contre-sanglon* ; p *longe* qui sert à attacher les chevaux ; q *mors de bridon* dit *à clavettes*. Ce mors brisé est employé seul pour le *sous-verge* ou cheval conduit en main dans nos attelages à deux ou à quatre chevaux.

Cheval de selle (fig. 2, pl. 258).

Harnachement des mulets et chevaux de bât.

Dans les pays où le manque de routes oblige à porter tout à dos de mulet, les transports se font ordinairement par des troupes d'animaux ou caravanes ; nous prendrons quelques exemples en Perse et en Turquie, où la difficulté des chemins et les grandes distances qu'il faut parcourir, sans espérer de secours d'aucune sorte, ont formé d'excellents muletiers.

Les mules et mulets habitués à marcher ensemble sont généralement guidés par un cheval qui marche en tête, et dont la suprématie ne semble pas contestée ; ce chef de troupeau est pourvu ordinairement d'une grosse clochette et de nombreux grelots.

En hiver, ce cheval sait retrouver le sentier caché sous la neige et tâter le terrain avant de s'y engager. Tous les animaux de caravane jouissent d'une certaine liberté d'allures ; ils ne sont jamais liés l'un à l'autre ni tenus en main. On les laisse s'arrêter pour brouter le long de la route, lorsque par hasard il y a de l'herbe, ou pour boire aux cours d'eau que l'on rencontre. Pourvu que le gros de la troupe continue son chemin, les plus irréguliers ne tardent pas à être inquiets et à presser l'allure pour les rejoindre. On compte généralement un homme pour cinq à six bêtes de somme.

Le harnachement comprend :

1° Une garniture de tête composée d'un simple licol dont la *muserolle* est formée par une plaque de fer faisant au besoin office de caveçon, et reliée aux montants par deux chaînes qui se réunissent à un anneau inférieur d'où part la chaîne qui sert de longe ;

2° Une couverture en laine épaisse doublée de feutre qui couvre tout l'animal ; elle est maintenue par un surfaix en coton, un poitrail et une large avaloire. Cette couverture tient lieu de bât ; quand elle a pris le pli de toutes les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parties du corps, elle forme comme une deuxième peau d'une grande résistance que les frottements ne peuvent pas entamer. C'est au muletier, en plaçant deux caisses reliées par des cordes pour le chargement, à les disposer de façon qu'elles ne tirent pas trop la couverture de haut en bas, et qu'elles ne portent pas sur le garrot ou sur le dos du mulet.

La disposition des charges est l'objet, avant le départ, de soins minutieux pour que les deux moitiés soient bien du même poids et pour qu'elles soient reliées entre elles de la manière la plus convenable, au moyen de cordes de coton ou de poils de chameau. Pour charger, deux hommes soulèvent à la fois les deux ballots ainsi réunis, les posent sur le dos du mulet et les attachent encore l'un à l'autre au moyen de cordes qui passent sous le ventre du mulet ou avec un surfaix qui embrasse tout le chargement. Pendant tout le voyage les ballots restent liés l'un à l'autre de la même manière ; pour décharger, il suffit de détacher les cordes inférieures ou le surfaix et de soulever la charge ; le mulet comprend vite qu'on lui rend sa liberté et il s'empresse de se dégager.

Chaque jour, après que les mulets sont déchargés, on les visite pour voir s'ils sont blessés ; dans ce cas, il suffit de laver à l'eau fraîche la partie meurtrie et d'enlever un peu de laine pour que le rembourrage feutré ne porte pas sur l'endroit devenu sensible. Si la blessure est grave, ce qui se produit rarement, on s'abstient pendant quelques jours de charger l'animal ou l'on réduit son chargement.

On replace la couverture sur chaque mulet après la visite, de sorte que ces animaux restent toujours protégés contre les variations de température. Comme le bât ne renferme que du feutre et des tissus de laine ou de coton, les mulets peuvent se coucher et se rouler sans rien abîmer. Si quelque danger survient, on a vite fait de réunir les bêtes de somme, de les charger et de se mettre en route.

Les mulets vivent en plein air presque toute l'année ; ils ne sont attachés que par exception, quand on s'arrête dans des centres populeux. Ainsi libres et bien traités, ils sont loin d'avoir le caractère grincheux des mulets de France. Au printemps, lorsqu'il y a de l'herbe, on fait des marches plus courtes, on les laisse paître quand ils sont arrivés et on ne leur donne rien autre chose. Le reste de l'année ils reçoivent comme ration environ 3 kilogrammes d'orge et de la paille hachée ; dans ces conditions ils font des étapes de 7 à 10 lieues, avec séjours tous les 5 à 6 jours. La charge d'un mulet est en moyenne de 120 kilogrammes sans compter le poids du bât.

La fig. 5, pl. 258, représente un mulet harnaché de l'artillerie anglaise.

Harnachement des mulets de l'artillerie.

Garniture de tête. Elle comprend un *licol* et un *bridon* qui est nécessaire pour qu'on puisse maintenir le mulet en place et le conduire où l'on veut dans toutes les circonstances de la guerre.

Licol. Pl. 257, fig. 8 à 11.

a, a' *montants*, b *muserolle :* une seule courroie passée deux fois et repliée dans l'*anneau* c forme la muserolle en avant et les montants en arrière ; les plis de la courroie sont arrêtés dans l'anneau par une *brédissure*. Le montant de gauche a' porte une *boucle* d et son *passant* e dans lequel s'ajuste le montant de droite.

La *sous-gorge* h comprend : un *boucleteau* k, fixé au montant de gauche, une *boucle* m et son *passant* n ; un *contre-sanglon* pris dans *l'enchapure* du montant de gauche ; deux *jouières* p fixées de chaque côté sur la muserolle et les montants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La *longe* en chaîne (fer étamé) comprend : un *anneau rond*, soixante-sept *mailles torses* (environ), un *touret* q, deux *grandes mailles* r, une *maille étranglée* S 1 T; la *courroie de longe* qui sert à fixer la longe au licol a une boucle et deux passants.

Harnais d'attelage.

On trouve dans une brochure publiée par le prince Napoléon-Louis Bonaparte la description d'un système d'attelage qui est des plus primitifs, et qui mérite un intérêt de curiosité, quoique probablement il ne puisse jamais s'appliquer chez nous (fig. 6, pl. 258).

« Sir Francis Head, qui a été, il y a quelques années, gouverneur du Canada, homme d'un grand mérite et qui a écrit plusieurs ouvrages remarquables sur ses voyages dans les deux Amériques, m'a communiqué les détails suivants relatifs au trajet qu'il fit à travers les Pampas, plaines immenses qui s'étendent de Buénos-Ayres jusqu'aux Andes. On parcourt ces vastes contrées très-rapidement et en chaises de poste traînées par des chevaux fougueux, qu'on relaye de distance en distance. Arrivés à des espèces de stations de postes, les gauchos[1] courent à cheval vers les nombreux troupeaux de chevaux sauvages, qui paissent dans ces plaines, en prennent au lacet (*lasso*), autant qu'ils en ont besoin pour le service des voyageurs, les attellent incontinent à la voiture et repartent au grand galop.

« Ce qui frappa le plus sir Francis Head, ce fut de voir des chevaux, qu'on retire tout à coup à la vie sauvage, se laisser atteler sans résistance et entraîner la voiture dans leur course rapide, comme s'ils avaient été dressés.

« Il trouva la cause de cette docilité subite dans le mode employé pour atteler les chevaux. Le simple harnachement dont on se sert dans ce pays ne contrariant en rien les mouvements du cheval, et ses membres jouissant d'une entière liberté, il se soumet au joug sans le savoir, tandis que si on voulait lui imposer tout à coup notre harnachement compliqué, il se défendrait, sans doute avec violence, car l'éducation ordinaire pour le cheval, comme pour l'homme, consiste à les habituer à la gêne et à la souffrance.

« Pour atteler un cheval dans les Pampas, il suffit d'avoir une sangle et une corde. La sangle étant assujettie autour des reins du cheval on attache une extrémité de la corde qui sert de trait sur un des côtés de la sangle au moyen d'une boucle.

« La position du cheval est facile à concevoir. N'ayant qu'un trait, il ne tire que d'un côté, et cette obliquité de la ligne de traction, qui, mathématiquement, est un désavantage dans l'application des forces, est ici la cause de la facilité qu'éprouve l'agent moteur; car par cette obliquité le trait ne touche le cheval qu'en un seul point, et ne lui fait éprouver ni pressions sur les épaules, ni frictions sur les autres parties du corps. Quant à la sangle tirée latéralement, elle tend à se placer tant soit peu de travers sur le dos du cheval, et c'est cette position qui l'empêche de glisser.

« Revenu en Europe, sir Francis Head fit l'expérience de cet attelage sur des chevaux anglais, et demanda aux régiments des gardes, à Londres, qu'on lui présentât les chevaux les plus vicieux, ceux qu'on n'avait jamais pu parvenir à atteler. Ayant employé la méthode décrite ci-dessus, l'essai réussit complétement.

1. Paysans de la République argentine, qui descendent du croisement des races européenne et indienne.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et au grand étonnement des officiers de cavalerie, qui avaient jugé la chose impossible ; des chevaux de troupe, qui n'avaient jamais été mis au harnais, traînèrent, à une grande distance, des canons, sans opposer la moindre résistance. »

On distingue divers modes d'attelage :

L'attelage de la charrette à deux roues, le cheval placé entre les limons, supportant le poids des brancards au moyen d'une dossière; la sous-ventrière de limon empêche les brancards de s'élever. Le harnais est disposé au moyen de l'avaloire et des chaînes de retraite pour que le cheval retienne la voiture dans les descentes. Ce mode d'attelage, qui est très-employé, présente de nombreux avantages; mais il fatigue beaucoup le cheval qui est alternativement écrasé ou soulevé suivant la nature du terrain et qui reçoit aussi souvent des chocs latéraux. Si le cheval vient à s'abattre, il court le danger d'être grièvement blessé.

Dans le mode d'attelage dit *à la française*, plusieurs chevaux sont attelés en file, celui de derrière entre les limons; chacun des chevaux de devant n'a qu'un collier et deux traits qu'on attache aux traits du cheval de derrière un peu en arrière du collier. La fig. 3, pl. 258, représente le harnais du cheval attelé entre les brancards.

Quelquefois deux chevaux sont attelés de front, l'un placé entre les limons; l'autre à gauche a ses traits attachés à la voiture au moyen d'un crochet passé dans un piton du limon de gauche; une traverse en bois, faisant fourchette à ses deux extrémités, donne aux traits l'écartement nécessaire pour ne pas blesser le cheval. Lorsque le cheval de gauche est monté, le point d'attache de ses traits est en avant de ceux du limonier, afin que la jambe du conducteur dépasse le brancard.

On peut rapporter à ce mode l'attelage russe avec trois chevaux de front.

Au point de vue de l'attelage à limonière, il y a une différence au moins dans les dimensions des harnais, suivant que le limon est supporté par le cheval ou qu'il a une position fixe comme dans certaines voitures à quatre roues.

Dans l'attelage à timon avec deux chevaux, lorsque le timon n'est pas fixe, d'après la forme de la voiture, son poids est supporté par les chevaux à l'aide de branches de support. Le cheval de gauche se nomme porteur, celui de droite sous-verge lors même qu'on conduit à grandes guides, aucun des chevaux n'étant monté.

Lorsqu'on attelle plus de deux chevaux, il y a deux systèmes :

Dans le premier, qui est celui de notre artillerie et des attelages de luxe à la Daumont, les chevaux sont trait sur trait comme dans l'attelage à la française.

Le deuxième, qui s'emploie lorsque l'avant-train a des points d'appui en avant et en arrière de son essieu et que le timon est supporté par la voiture se nomme *attelage à l'allemande*. La voiture est dirigée par les deux chevaux de derrière qui marchent de front, et dont les traits sont attachés soit à une volée fixée sur les armons, soit à des palonniers portés par la volée. Deux chaînes, pendant au bout du timon, servent à retenir et à faire reculer la voiture. Les chevaux de derrière ont un harnais très-simple qui n'exige ni sellette, ni sous-ventrière. Les deux chevaux en avant de ceux de derrière tirent sur une volée mobile, accrochée au bout du timon. Ce n'est que quand il y a plus de quatre chevaux que les autres tirent sur les traits des chevaux du milieu. Ce mode d'attelage donne beaucoup d'indépendance aux mouvements des chevaux et il se prête parfaitement à l'utilisation de toutes les forces de l'attelage, quand il faut donner un coup de collier.

Nous avons indiqué les principaux systèmes; il se comprend qu'on peut en com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

biner les éléments de manière à en créer beaucoup d'autres. Mais au fond, au point de vue des parties essentielles qui doivent composer le harnachement, il n'y a lieu de distinguer que l'attelage à limonière, l'attelage à timon et dans ce dernier système deux cas : les chevaux fixés au timon ou de derrière, et les chevaux de devant. Une selle complète les harnais de porteur quand on les fait monter ; mais comme nous ne pouvons pas entrer dans tous les détails, nous ne parlerons que des sous-verges.

Légende de la planche 257 : fig. 1, porteur de devant ; fig. 2, porteur de derrière ; fig. 3 et 4, porteur et sous-verge avec bricoles ; fig. 5, 6 et 7, harnachements à collier de l'artillerie anglaise.

Éléphants.

Cuvier distingue deux espèces d'éléphants : l'asiatique ou indienne (*elephas indicus*), et l'africaine (*elephas capensis*), qui autrefois se trouvait aussi dans le nord de l'Afrique. Il est certain que les Carthaginois prenaient chez eux les éléphants qu'ils employèrent dans leurs guerres contre les Romains. Les deux espèces diffèrent par des signes extérieurs, par la taille.

« L'Inde, dit Diodore de Sicile, nourrit une quantité incroyable d'éléphants, qui l'emportent beaucoup par le courage et par la force sur ceux que nourrit la Libye. Les Romains, qui appréciaient beaucoup ces différences, distinguaient par le nom d'*Indi* les éléphants d'Asie, et par celui de *Libyci*, d'*Afri* ou de *Mauri* ceux d'Afrique. *Indicum Afri pavent*, dit Pline, *nec contueri audent*. La même remarque, sur l'infériorité des éléphants d'Afrique, a été faite par Aristote, par Tite-Live, par Strabon, par Pomponius Mela et par d'autres auteurs [1]. »

On cite quelques exemples pris dans l'histoire des Abyssins et des Nubiens, qui prouvent qu'à certaines époques ces peuples ont su prendre et dresser les éléphants. A l'époque de la naissance de Mahomet, le roi d'Abyssinie, Abrahah, vint attaquer la Mekke avec des éléphants (voir le Koran, *Surat el fil*, ou chapitre de l'éléphant). La vingtième année de l'hégire (640 de Jésus-Christ), les Nubiens qui vinrent au secours des chrétiens d'Égypte avaient des éléphants (Chroniques arabes de Burckhardt). L'Espagnol Marmol, qui voyageait au seizième siècle en Abyssinie, parle aussi d'éléphants dressés. Mais ce ne sont que des tentatives intermittentes, limitées toujours aux mêmes régions.

Dans les autres parties de l'Afrique, où les éléphants sont encore en troupes nombreuses, il n'a jamais été constaté qu'on ait su les dompter pour le service, et qu'on en ait tiré un autre parti que de manger leur chair et de vendre leurs défenses. Les éléphants d'Afrique sont peut-être moins intelligents et plus farouches que ceux d'Asie ; mais certainement les nègres ont montré, sous ce rapport, moins d'esprit de ressources que les autres races humaines.

Dans l'Asie, au contraire, les éléphants sont employés comme auxiliaires de l'homme d'une manière suivie, depuis une antiquité reculée.

La taille de l'éléphant indien, qui s'élève jusqu'à 3m.20, est en moyenne de 2m.50 ; on en trouve même, en particulier dans le Teray, qui ne sont guère plus grands qu'un bœuf. Le poids moyen des défenses est de 25 kilogrammes ; mais on en trouve de 50 à 60 kilogrammes. Cuvier cite des défenses de 4m.50 de long.

1. Chevalier P. Armandi, *Histoire militaire des éléphants*. Pour la rédaction de ce chapitre, nous avons puisé beaucoup de renseignements dans cet ouvrage remarquable où l'on trouve réunis et sagement discutés tous les faits relatifs à l'emploi fait autrefois des éléphants dans les armées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pesant jusqu'à 150 kilogrammes; mais ce ne sont que des exceptions se rapportant à des animaux très-vieux et d'une taille exceptionnelle.

Les éléphants se reproduisent en captivité, mais très-rarement; le temps de la gestation est de vingt mois et dix-huit jours. Aussi presque tous les éléphants qu'on emploie ont été sauvages. On les prend généralement en les attirant au moyen d'une femelle privée, ou en les chassant dans un enclos fortement palissadé dans lequel on les enferme. On a pu voir à l'Exposition universelle de 1855, dans les galeries consacrées aux produits de l'Inde, une suite de dessins indiquant comment on parvient à dompter les éléphants prisonniers. Les moyens employés sont encore les mêmes qu'ont décrits Adrien et Strabon. Quand ils se voient prisonniers, ces colosses deviennent furieux; ils feraient des efforts désespérés pour briser les clôtures, et ils y réussiraient souvent si les feux, les détonations des armes et les hurlements des chasseurs, souvent au nombre de plusieurs mille, qui entourent l'enceinte, ne les faisaient pas reculer. Lorsque la faim et la fatigue ont épuisé leurs forces, des hommes pénètrent dans l'enceinte, montés sur des éléphants apprivoisés; chaque prisonnier qu'on parvient à isoler du troupeau et à placer entre deux éléphants dressés est emmené par eux et frappé à coups de trompe s'il résiste. On glisse un nœud coulant à un de ses pieds, et on l'attache à un tronc d'arbre. Après des efforts impuissants, affaiblis par le jeûne, les éléphants n'opposent plus de résistance; les soins et les caresses achèvent d'en faire des serviteurs dociles et affectionnés. Ils sont pourtant sujets quelquefois à des accès de fureur.

Selon l'*Ayéen Akbery*, l'éléphant vivrait environ cent vingt ans. La peau est d'une très-grande dureté; encore de nos jours, on trouve, en Asie et en Afrique, des boucliers en peau d'éléphant, qui arrêtent les flèches et les javelots, et quelquefois aussi les balles.

Aussi cet animal, presque invulnérable avant l'invention des machines de guerre, a-t-il été longtemps considéré comme un auxiliaire puissant dans les combats. Aux armées, les éléphants produisaient, dans une époque très-reculée, les effets qu'on a depuis demandés aux machines et à l'artillerie. Lorsqu'on réussissait à leur faire charger l'ennemi, ils dispersaient facilement la cavalerie en effrayant les chevaux; contre l'infanterie, leur choc était irrésistible.

« Les rangs les plus serrés, les carrés les plus compactes, étaient forcés de céder au choc de ces masses ambulantes, qui, suivant l'expression de Pline, renversaient les bataillons, écrasaient les combattants. Plutarque compare l'irruption que firent les éléphants de Pyrrhus dans l'armée romaine à un torrent débordé, auquel rien ne saurait résister. Justin et Florus parlent à peu près dans les mêmes termes du choc de ces animaux. S'il y eut jamais des troupes éprouvées et intrépides, ce furent certainement celles d'Alexandre, et cependant sa phalange, toute hérissée de piques, fut forcée de plier et de s'ouvrir devant les éléphants de Porus. Quand, par malheur, on ne parvenait pas à repousser ces formidables agresseurs, ils se faisaient jour en tout sens, écrasaient tout ce qui se présentait sur leur passage, et l'armée pouvait être regardée comme désorganisée. Alors l'ennemi n'avait plus qu'à lancer sa cavalerie sur les masses éparpillées, et il était sûr de les désarmer ou de les tailler en pièces. C'est pour cela que les batailles qui ont été gagnées par l'emploi des éléphants ont été ordinairement très-meurtrières pour le parti vaincu [1]. »

L'éléphant n'agissait pas seulement par sa masse; sa trompe et ses défenses étaient des armes terribles. On ne négligeait rien dans l'équipement pour aug-

1. Chevalier Armandi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

menter la puissance de ces effets. Les défenses étaient garnies de pointes d'acier, et protégées par des plaques de fer; la tête et la poitrine étaient bardées de fer; on les cuirassait même entièrement. On armait quelquefois leur trompe de véritables épées, dont ils apprenaient à se servir adroitement.

On les couvrait de peintures ou de housses éclatantes, pour rendre leur aspect plus effrayant pour les chevaux; on leur donnait des boissons enivrantes pour augmenter leur ardeur au combat.

Enfin, on leur mettait sur le dos une tour portant des combattants; l'antiquité ne nous a laissé aucune représentation de ces tours; les auteurs ne sont pas d'accord sur le nombre de guerriers qu'elles renfermaient. Le chevalier Armandi a été conduit, par ses savantes recherches, à penser que ces tours en bois, faisant corps avec le bât, n'étaient pas sans analogie de forme avec les chars de guerre. Le bois ne devait former qu'une carcasse, les vides étant remplis par des cordes tressées et l'ensemble recouvert de cuir. Ces espèces de tours étaient de grands bâts, entourés d'un léger parapet à hauteur d'appui. La tour était occupée par trois ou quatre hommes.

On a aussi employé des tours plus hautes pour élever les assaillants à hauteur des créneaux d'une ville qu'il s'agissait de prendre.

Tous les éléphants ne portaient pas de tours; mais chacun avait un conducteur nommé chez les Grecs *éléphantagogos* ou *éléphantistès*, et chez les Romains *rector*, *magister* ou *moderator belluæ*. Ces conducteurs étaient montés sur le cou de l'éléphant, dont ils dirigeaient les mouvements avec la voix ou avec un crochet de fer; c'est ce qui se pratique encore aujourd'hui.

Malgré tous ces soins donnés au dressage, à l'équipement et à l'armement, les éléphants ont rarement produit les grands effets qu'on en attendait. Dans beaucoup de batailles, ils ont pris peur, et se sont emportés en mettant le désordre dans les troupes qu'ils devaient appuyer. Ils ont constitué une arme très-efficace par exception, ordinairement peu utile, et souvent très-dangereuse à employer.

Des troupes aguerries savaient les arrêter au moyen de chausse-trappes ou de chevaux de frise, ou leur ouvrir un passage, les harceler et les tuer. La bataille de l'Hydaspe, gagnée par Alexandre sur Porus, qui avait deux cents éléphants, en fournit un exemple d'autant plus remarquable que les Macédoniens combattaient ces formidables animaux pour la première fois. Les Romains, qui avaient eu à combattre souvent les éléphants depuis la bataille livrée à Héraclée contre Pyrrhus, ne se décidèrent à en avoir dans leurs armées que dans la guerre qu'ils firent à Philippe, roi de Macédoine. Ils y renoncèrent vers les derniers temps de la république. Ils conservèrent longtemps l'usage des éléphants dans les fêtes; ils les attelaient aux chars de parade, destinés à porter les images des dieux et des empereurs dans les grandes cérémonies, ainsi qu'au char des triomphateurs.

Depuis, on ne trouve plus les éléphants employés comme machines de guerre qu'en Asie, et encore par exception.

BATTERIES SPÉCIALES DE L'ARMÉE DES INDES.

En 1859, les Anglais adoptèrent définitivement dans l'Inde, pour tirer le gros matériel de campagne, ou artillerie de réserve, l'emploi des éléphants et des bœufs; cette organisation avait donné d'excellents résultats pendant la grande insurrection indienne.

Chaque batterie comprenait : 2 canons de 18 livres, 2 obusiers de 8 pouces,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2 mortiers de 8 pouces, 2 mortiers de 5 pouces 1/2, en tout 8 pièces qui, avec les munitions, étaient traînées par 13 éléphants et 343 bœufs.

Plus tard on supprima un mortier de 8 pouces, ainsi que les 2 mortiers de 5 1/2 pouces, et la batterie fut réduite à 5 bouches à feu.

Le tableau suivant donne les détails relatifs surtout au transport des principales pièces de ce matériel :

POIDS EN KILOGRAMMES :	OBUSIER de 8 pouces.	CANON de 18.	MORTIER de 8 pouces.
Bouche à feu	1067	2133	441
Affût	1504	1302	406
Chariot porte-corps pour mortier	»	»	521
Avant-train d'affût	806	806	»
Caisson à munitions	1130	1069	1130
Avant-train du caisson	599	700	622
Poids total de la pièce sur affût avec avant-train ou du mortier avec son affût sur porte-corps	3376	4241	1368
Poids total du caisson et de l'avant-train	1729	1769	1752

Il y a quatre caissons à munitions par bouche à feu. On emploie les éléphants à traîner les canons et les obusiers, et les bœufs pour les mortiers. On attelle pourtant aussi des bœufs aux canons et aux obusiers lorsqu'un engagement avec l'ennemi devient imminent, parce qu'il serait dangereux de garder les éléphants qui s'effrayent du feu de l'artillerie. Ce changement d'attelage n'exige qu'environ trois minutes avec des hommes exercés. Il est recommandé de chercher à habituer les éléphants, en les gardant près des pièces dans les revues ou dans les simulacres de combat ; il peut en effet arriver à la guerre qu'ils se trouvent subitement exposés au feu de l'ennemi, avant qu'on ait eu le temps de les dételer.

On emploie deux éléphants, tirant trait sur trait, pour traîner un canon ou un obusier ; celui de derrière est attelé à la limonière de l'avant-train.

Poids de la limonière pour éléphant	133	kilogrammes.
Poids du harnais de l'éléphant de derrière	289	—
Poids du harnais de l'éléphant de devant	215	—

La figure 1, pl. 258, représente l'éléphant de derrière tout harnaché.

A, gros câble en chanvre, matelassé et entouré de cuir.
B, sellette en bois recouvert de tôle de fer.
C, sangle faite avec des cordes de coton.
D, plaque en fer avec anneau.
E, tapis de selle épais et housse, en coton.
F, cuir qui borde la housse.
G, croupière, faite avec des cordes de coton ; elle supporte une avaloire, qui est fixée à la grande couverture ou housse.
H, chaînes.

Le harnais d'éléphant comprend d'abord la grande housse qui couvre tout l'animal depuis les épaules, et empêche que les chaînes avec lesquelles il tire ne frottent sur sa peau ; quoique la peau soit très-épaisse, elle est extrêmement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sensible, et il se produit vite des plaies qui sont difficiles à guérir. Au-dessus de cette grande couverture, il y en a une autre plus petite qui protége le dos, et par-dessus encore un coussin de paille sur lequel est placée la sellette. La sellette supporte le poids de la limonière, et elle porte deux crochets auxquels s'attachent les chaînes de limonière qui servent à retenir dans les descentes; les chaînes, qui font l'office de traits, sont fixées à la partie antérieure de la selle; la selle, solidement fixée par la croupière et par le poitrail, ou plutôt le collier A, reste fixe et ne détermine aucun frottement, suivant que l'animal tire sur les traits ou qu'il retient au moyen des chaînes de limonière. Des étriers en corde supportent les pieds du conducteur ou cornac qui est à cheval sur le cou de l'éléphant.

Chaque paire de bœufs porte un joug pesant 45 livres (20k.455) et une chaîne de 20 livres (9k.060); on peut atteler autant de paires qu'on veut à la file, en réunissant les chaînes suivant lesquelles s'opère la traction. On emploie dix paires de bœufs pour traîner un canon de 18, huit paires pour un obusier de 8 pouces, trois paires pour un mortier ou pour un caisson à munitions.

Les Anglais ont reconnu que l'emploi des éléphants, pour traîner le matériel d'artillerie, présente les avantages suivants :

A cause de leur grande masse et de leur force, les éléphants peuvent traîner un canon dans les montées et les descentes, dans des passages et des tournants étroits, où des attelages de chevaux et de bœufs ne pourraient pas le faire, et où il serait nécessaire de dételer et de faire effort à bras. Dans les chemins boueux, dans les sables et dans les terrains accidentés, ils conduisent le matériel plus vite que les chevaux et les bœufs, et ils peuvent toujours suivre une colonne d'infanterie.

Dans le passage des rivières, lorsque le fond est inégal et qu'il offre des dangers, les éléphants tâtent le terrain avec la plus grande prudence; ils hésitent à avancer lorsqu'ils découvrent des sables mouvants, vers lesquels l'ignorance du cornac les dirigerait; ils savent chercher leur chemin dans bien des cas où un autre attelage périrait en faisant perdre le canon.

On emploie aussi les éléphants pour traîner les canons de 6 et de 9 livres, dans les terrains accidentés, lorsque de pareilles pièces sont nécessaires et que le canon de montagne ne suffirait pas; un éléphant porte le canon, un autre porte l'affût. Le canon de 9 dont on parle pèse 10 quintaux (508 kilogrammes), et son affût, 12 quintaux anglais ou 609 kilogrammes.

Nous avons dit que, dans l'armée anglo-indienne, les bœufs sont les auxiliaires des éléphants pour le transport de l'artillerie de réserve, et qu'on emploie ces deux animaux simultanément dans une même batterie. Les bœufs sont tranquilles au feu; ils peuvent supporter de grandes fatigues s'ils ne sont pas surmenés; ils résistent dans ce cas mieux que les chevaux, et sont moins exposés aux maladies. En bon terrain, ils suivent les éléphants, quoique en général ils marchent moins vite. Il faut les ferrer lorsque le sol est dur ou pierreux; autrement ils se blessent les pieds et deviennent bientôt hors d'état de servir. Dans les terrains détrempés et boueux, où les roues enfoncent et sont adhérentes, ils sont très-supérieurs aux chevaux, qui perdent courage après quelques efforts infructueux et ne veulent plus donner dans les traits. Le bœuf est patient, et il emploie toutes ses forces pour arracher d'une ornière une voiture embourbée.

Dans l'Inde, les conducteurs de bœufs sont assis sur le joug, entre les deux animaux qu'ils dirigent, au moyen d'une corde passée dans un trou percé dans le cartilage du nez. Lorsqu'il faut faire un effort considérable, et qu'il est nécessaire que dix à douze paires de bœufs attelés ensemble agissent bien en-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

semble, on trouve bon d'attacher les traits d'un éléphant au joug de la paire de bœufs de devant.

On n'admet au service que des bœufs de cinq à huit ans ; la taille minimum qu'accepte l'artillerie anglaise est de 50 pouces (1m.27), pour des animaux pouvant charrier 210 livres (95 kilogrammes). La ration journalière par tête est de 4 à 6 livres (moyenne 2k.265) de grain et 14 livres (6k.342) de fourrage sec.

En résumé, l'artillerie anglaise fait porter aux éléphants de trait un harnachement qui pèse 289 kilogrammes, auxquels s'ajoute le poids de la limonière, ce qui fait en tout environ 350 kilogrammes. Le poids tiré par chaque éléphant est

Pour le canon de 18.....	2120 kilogrammes.
Pour l'obusier de 8 pouces.....	1688 —

Lorsqu'elle les emploie comme animaux de bât, elle leur fait porter, comme charge maximum, l'affût de 9, qui pèse 609 kilogrammes, ce qui, avec le harnachement, fait en tout moins de 1000 kilogrammes.

C'est ici le cas d'observer que la force qu'on peut utiliser n'est pas aussi grande que la taille et la masse de l'éléphant pourraient le faire supposer. L'éléphant peut soulever avec sa trompe un poids de 100 kilogrammes, et soutenir 500 kilogrammes sur ses défenses; mais ce sont des efforts instantanés, sur lesquels il ne faut pas compter quand il s'agit d'un travail régulier et prolongé. La charge que peut porter un éléphant est de 1000 à 1200 kilogrammes environ, avec laquelle il peut faire douze à quinze lieues par jour. Si on augmente ce fardeau, il se rebute, refuse d'avancer ou se fatigue promptement.

Sa marche ordinaire n'est guère plus rapide que le pas d'un cheval ; mais elle se maintient mieux dans les mauvais terrains. L'éléphant marche avec circonspection ; il bronche rarement, et peut gravir et descendre des pentes que les chevaux ne peuvent pas suivre. Lorsqu'on le pousse, il prend une espèce d'amble qui équivaut au galop pour la vitesse.

En tirant une voiture, l'éléphant peut faire de 5 à 6 kilomètres à l'heure, et conserver cette vitesse de marche pendant trois ou quatre heures, la nuit, ou quand le temps est frais ; sous un soleil ardent, il est paresseux et marche beaucoup plus lentement.

L'éléphant nage avec facilité; il plonge quelquefois entièrement en levant sa trompe en l'air pour respirer.

La ration journalière est d'au moins 50 kilogrammes d'herbes et de racines.

En dehors de l'armée, l'éléphant rend de grands services pour le transport ou le déplacement des lourds fardeaux ; il sait comprendre les ordres de son cornac, et il les exécute docilement. Plusieurs éléphants peuvent s'entendre et unir leurs forces pour remuer et ranger en ordre de grosses pièces de charpente ; on les emploie très-utilement au défrichement des bois. Pline dit que les Indiens attelaient à la charrue des éléphants de petite taille. Des essais semblables de labourage ont été faits récemment à Ceylan, et ils ont parfaitement réussi. A cause de sa masse et de la souplesse relative de ses membres, l'éléphant est plus propre à tirer qu'à porter les fardeaux.

L'éléphant est encore une monture de parade dans l'Inde, la Birmanie, Siam, Ceylan, etc. Dans ce cas, il porte sur le dos une espèce de galerie en bois léger, dans laquelle prennent place deux ou trois personnes. Lorsque ces galeries sont découvertes et simplement garnies de coussins, on leur donne le nom de *howdah*. Les dames en ont de plus riches, couvertes de rideaux de soie que l'on nomme *amëry*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau [1] indiquant le travail comparatif de l'homme et des animaux.

DÉSIGNATION.	EFFORT MOYEN exercé,	VITESSE ou chemin parcouru par seconde,	TRAVAIL par seconde,	DURÉE du travail journalier,	QUANTITÉ de travail journalier.
	kil.	m.		heures.	
Un manœuvre agissant sur une roue à cheville par son propre poids (au niveau de l'axe de la roue)...	60	0.15	9.00	8	259 200
Un manœuvre marchant, tirant et poussant horizontalement.....	12	0.60	7.20	8	207 360
Un manœuvre agissant sur une manivelle.....	8	0.75	6	8	172 800
Un manœuvre exercé poussant et tirant alternativement dans le sens vertical.....	10	0.75	4.5	10	162 000
Un cheval attelé à une voiture ordinaire, au pas.....	70	0.90	63	10	2168 000
Un cheval attelé à un manége, au pas.	45	0.90	40.5	8	1166 400
Un cheval attelé à un manége, au trot.	30	2.00	60	4.5	972 400
Un bœuf attelé à un manége, au pas.	65	0.6	39	8	1123 200
Un mulet.....	30	0.9	27	8	777 600
Un âne.....	14	0.80	11.2	8	322 560

CHAPITRE TROISIÈME.

Histoire des voitures; différentes espèces de voitures.

« L'usage des voitures est si ancien, leur emploi pour le transport des marchandises et des fardeaux est maintenant si général, et d'une si grande utilité, qu'on a lieu de s'étonner qu'on soit resté pendant tant de siècles, sans les améliorer, et que leur construction ait fait des progrès si lents. Les principaux perfectionnements qu'on a apportés aux véhicules à roues ne datent pas d'une époque très-éloignée, et actuellement même ils sont encore susceptibles d'en recevoir d'importants [2]. »

Les plus anciens monuments historiques nous montrent les chars en usage pour la guerre, pour les jeux ou pour le transport des fardeaux. Il est parlé du char de Pharaon dans le 21e chapitre de la Genèse. Homère nous donne la description des anciens chars de guerre. On attelait généralement deux chevaux, quelquefois un plus grand nombre. Dans tous les cas, comme il n'y avait à traîner qu'un seul homme, il était inutile d'étudier les meilleures conditions du tirage, et le progrès n'a pas dû résulter de cet emploi des voitures. Du reste, les dimensions des roues et la forme du char dépendaient de la commodité du guerrier qui devait pouvoir monter et descendre facilement, chargé du poids de ses armes offensives et défensives. Les roues étaient d'un petit diamètre; le corps de la voiture, relevé de devant pour servir de bouclier, était très-rapproché de

1. Emprunté au *Carnet de l'Ingénieur*, librairie de la Société des Ingénieurs civils, 54, rue des Saints-Pères.

2. Piobert, *Mémoire sur le tirage des voitures.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

terre par derrière. Au timon était fixé un joug qui s'appuyait sur l'encolure du cheval, en avant du garrot et qui était fixé par des courroies.

L'histoire des guerres anciennes nous montre les chars employés dans un grand nombre de batailles par presque tous les peuples.

A la bataille d'Arbelles 50 chars *drépanophores* ou armés de faux, couvraient le centre de Darius. Porus opposa ces mêmes engins de guerre à Alexandre dans la bataille qu'il livra sur le bord de l'Hydaspe. Plus tard Ardéchir ou Artaxerxès, roi Sassanide, posséda 1,000 chars de combat, ce qui ne l'empêcha pas d'être battu par Alexandre Sévère.

Les Carthaginois se servirent longtemps de chars armés de faux. Ils en avaient beaucoup lors de leurs premières invasions en Sicile. Lorsque Agathocle porta ses armes en Afrique, ils lui opposèrent 40,000 hommes et 2,000 chars. Ils renoncèrent aux chars lorsqu'ils employèrent les éléphants, vers le commencement de leurs longues guerres avec les Romains.

Ces derniers, au contraire, commencèrent à adopter les chars lorsqu'ils eurent à résister aux éléphants. Ils en firent usage pour la première fois à la bataille qu'ils livrèrent à Pyrrhus, près d'Ausculum. « Ces chars, garnis de longues fourches et de pointes de fer, étaient montés par des soldats, armés de brandons et de projectiles incendiaires pour effrayer les éléphants et mettre le feu aux tours. Suivant Zonaras et Paul Orose, au récit desquels nous empruntons cette particularité, l'usage de ces chars aurait été introduit en Italie par les Gaulois ; mais la bataille d'Ausculum serait la première circonstance où les Romains en auraient fait l'essai. On s'est fondé, pour révoquer en doute le récit de ces historiens, sur ce qu'on lit dans la tactique d'Arrien, que jamais les Romains n'avaient combattu avec des chars. Mais, d'un autre côté, Végèce dit positivement qu'ils s'en étaient servis autrefois contre les éléphants [1]; et ces deux assertions, en apparence contradictoires, peuvent, selon moi, se concilier, si l'on admet que réellement les chars de guerre ne faisaient pas ordinairement partie du matériel des armées romaines, mais que ces chars avaient pu être employés par exception dans cette circonstance [2]. »

Les Galates avaient 200 chars drépanophores à la bataille qu'ils livrèrent à Antiochus Soter, environ 275 ans avant notre ère, sur les confins de la Cappadoce et de la Phrygie. On retrouve l'emploi des chars dans les Gaules et particulièrement en Bretagne dans la défense contre les troupes romaines et dans beaucoup d'autres contrées.

Les chars armés de faux ne paraissent pas avoir jamais été de puissants moyens d'attaque. Ils n'agissaient utilement que sur des terrains spécialement favorables. Quand l'ennemi ne perdait pas la tête, il pouvait toujours s'en garantir en profitant des obstacles naturels ou en organisant rapidement des défenses qui les empêchaient d'avancer ou brisaient leur élan. Dans tous les cas, une troupe disciplinée et bien commandée avait la ressource de neutraliser leur action en leur ouvrant un passage. Il parait qu'Alexandre employa ce moyen à la bataille d'Arbelles ; c'est aussi ce qu'ordonna César dans ses guerres contre les Bretons.

Il est arrivé dans beaucoup de batailles que les chevaux des chars, moins bien maintenus par leurs conducteurs que ceux de la cavalerie, ont été effrayés par les cris de l'ennemi, qu'ils ont fait demi-tour en s'emportant et enfoncé les troupes amies. Ainsi cet engin de guerre, d'une efficacité douteuse, pouvait devenir très-dangereux pour ceux qui l'employaient.

Si de nos jours les chars devaient reparaître sur les champs de bataille, pous-

1. Végèce, *De re militari*, III, 24.

2. Chevalier Armandi, *Histoire militaire des éléphants*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sés par la vapeur, susceptibles d'avoir une masse considérable et une grande vitesse sur un sol convenable, ils seraient d'un effet irrésistible. Il ne faut pas trop se hâter de considérer comme impossible de voir les chars figurer encore dans les luttes de l'avenir. Il n'est pas douteux que la mécanique, que la poudre avait détrônée au point de vue militaire, pourrait bien reprendre sa place maintenant qu'elle a des moyens d'une puissance extraordinaire.

C'est ici le cas de signaler une étude très-intéressante, dont les détails nous sont encore inconnus. Un travailleur intelligent et instruit s'occupe en ce moment, à Paris, de créer un moteur dans lequel la force sera empruntée non plus à la vapeur, mais à une matière explosive comme la poudre ; on assure qu'il a pleinement réussi.

Chars de guerre portant des tours.

On a aussi employé en Orient et particulièrement en Perse, à une époque reculée, des chars portant des tours. Celles de l'armée de Cyrus, à la bataille de Thymbrée, avaient environ 5 mètres de haut et contenaient 20 archers ; chacune était portée sur un char attelé de huit paires de bœufs. Ces tours étaient placées en arrière des troupes et tiraient au-dessus de l'infanterie, comme la pièce élevée qu'on nomme *cavalier* en fortification.

Nous manquons de renseignements précis sur les diverses formes de chars ou chariots employés dans l'antiquité pour les transports. Pourtant, il est certain que ces véhicules ne pouvaient transporter qu'une ou deux personnes ou de légers fardeaux. Les chemins même les mieux faits et ceux qui étaient pavés ne pouvaient pas offrir les mêmes facilités de parcours que nos routes macadamisées ; la construction des roues était grossière et on ne pouvait que leur donner d'assez petits diamètres, un mètre au plus ; les essieux étant en bois, les fusées devaient avoir un fort diamètre. Enfin, le pourtour de la roue, étant en bois, se déformait, et la roue ne restait pas ronde. Les avantages que le roulage présentait dans ces conditions étaient nécessairement très-faibles. Aussi, pour les transports au pas, l'emploi des bêtes de somme offrait des avantages réels.

Pendant longtemps les roues ont été pleines. Edgeworth cite, comme exemple, une charrette très-primitive, nommée *inside car*, qui était employée en Irlande au commencement du siècle. Il y a quelques années, on trouvait en Grèce, en Calabre et dans quelques parties de l'Espagne des roues pleines, formées de plateaux de bois coupés circulairement et n'ayant aucune ferrure. On se sert encore aujourd'hui de roues pareilles en Turquie. La première idée, comme nous l'avons dit précédemment, a été de fixer les roues à l'essieu qui était cylindrique et tournait. Nous avons cité les charrettes qui sont employées de nos jours dans certaines provinces du Caucase.

On ne peut fixer l'époque où l'invention des roues composées de plusieurs pièces a permis d'augmenter les diamètres. L'inclinaison des rais ou écuanteur, qui fait de la roue un ensemble élastique dont toutes les parties sont solidaires, a été le résultat de l'expérience. Quoi qu'il en soit, ces perfectionnements n'ont pu naître et se répandre que dans des pays civilisés où le fer était commun et où l'on trouvait facilement des ouvriers pour le travailler. On a dû toujours éprouver de grandes difficultés pour faire les roues pendant tout le temps que les métaux étaient rares et précieux, et qu'on ne pouvait se servir que de bois.

On peut donner une idée de l'imperfection des voitures au moment où l'empire romain était en grande prospérité, et possédait des routes bien entretenues. Du temps de Constantin, les édits relatifs aux postes fixaient la charge des charrettes à deux roues à 65 kilogrammes, et celle des chars à 195 kilogrammes ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux personnes ; les chariots à quatre roues ne devaient porter que 1,000 livres (325 kilogrammes) ou trois personnes au plus à la fois. Malgré ces faibles poids, quand on voulait aller vite on mettait trois mules aux charrettes ; pour les chariots on en employait de huit à dix.

Une des causes les plus actives de la destruction de ces véhicules, c'était l'usure que produisait le frottement de la fusée d'essieu dans le moyeu ; les roues cessaient d'être d'aplomb, et se déversaient. On ne pouvait obtenir une certaine durée qu'en les faisant épaisses et d'un petit diamètre. L'essieu aussi devait être très-gros pour éviter la rupture.

L'adoption de la ferrure nommée *éguignon*, qui recouvre la partie inférieure des fusées d'essieu, et d'une *boîte de roue* en bronze pour protéger l'intérieur du moyeu, permirent d'effectuer le roulage avec beaucoup plus d'avantage. On put faire les roues d'un plus grand diamètre et transporter de lourds matériaux comme ceux qui furent employés à Rome pour certaines constructions, au temps de Michel-Ange.

L'adoption des essieux en fer pour les grosses voitures, ne remonte guère à plus de cent ans ; elle n'est devenue générale qu'à la fin du siècle dernier. C'est dans notre siècle qu'on a supprimé les clous en saillie sur les bandes de roue qui dégradaient les routes et augmentaient le tirage, qu'on a fait le bandage des roues d'une seule pièce, régularisé les dimensions des roues au point de vue de l'avantage de la traction et de la conservation des chaussées. Après les premiers progrès à la fin du dix-huitième siècle, on put charger les voitures de 500 kilogrammes par cheval. Depuis qu'on fait les bandes plus larges, que les roues et les essieux sont mieux construits, le chargement d'un cheval est de 1,000 kilogrammes au moins sans compter le poids des roues et du corps de la voiture qui s'élève souvent jusqu'à 500 kilogrammes par cheval.

Ressorts, essieux patentés.

L'invention récente des essieux dits *patentés*, imaginés principalement par Collinge, est maintenant généralement adoptée pour les voitures de luxe et pour les voitures de ferme qui vont à des allures vives. Les essieux sont tournés exactement et ajustés avec les boîtes de manière à réduire considérablement le jeu qui doit exister entre ces parties et à empêcher les matières onctueuses qui adoucissent les frottements de s'échapper par l'une ou l'autre des extrémités du moyeu.

La première voiture suspendue qu'on ait vue en France, est celle qui fut offerte, en 1457, à la femme de Charles VII. Ce n'est que dans le dix-septième siècle que l'emploi des ressorts se répandit pour les voitures de luxe. On comprend, du reste, qu'à cette époque, le mauvais état des routes ne permettait pas d'employer des ressorts pour des véhicules destinés à faire de longs trajets aux allures vives. C'est ce qui a lieu encore en Russie, où la carrosserie de luxe est pourtant très-bien fabriquée dans plusieurs centres industriels.

L'espace nous manque pour faire suivre ces généralités de détails historiques, signalant en détail les nombreux perfectionnements de notre matériel roulant.

Nous devons nous contenter d'indiquer les principaux types de voitures en signalant plus particulièrement ceux qui marquent une période distincte dans ces travaux qui se continuent depuis les premières sociétés.

Nous citerons la *volante* de la Havanne (fig. 1 de la page suivante) comme marquant la transition entre la litière et la voiture à deux roues (fig. 2, voiture de place à Pékin).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

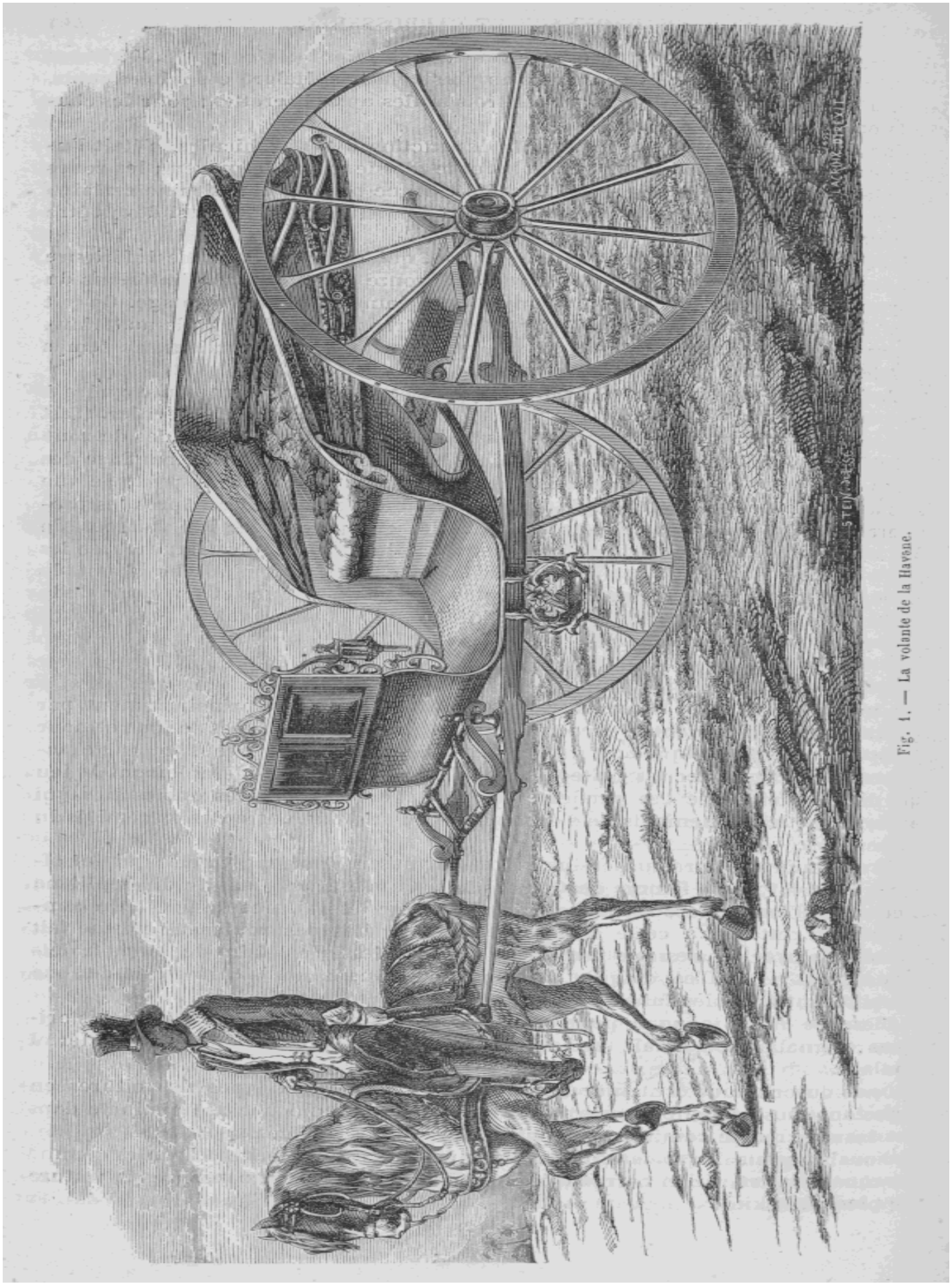


Fig. 1. — La volante de la Havane.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Fig. 2. — Voiture de place à Pékin.

Nous donnons, pl. 256, les principaux types de voitures de luxe :

Fig. 1. — Traîneau suédois.
2. — Traîneau à bras.
3. — Voiture de parc.
4. — Cabriolet Mylard.
5. — Pancer à 2 roues.
6. — Telbury.
7. — Cabriolet-calèche,
8. — Landau.
9. — Vis-à-vis à 8 ressorts.
10. — Calèche.
11. — Poney-chaise.
12. — Dog-cart.
13. — Dog-cart.
14. — Duc.
15. — Duc parasol.
16. — Coureuse américaine.
17. — Telbury à 4 roues.
18. — Coupé simple.
19. — Coupé trois quart.
20. — Phaéton, train à flèche.
21. — Breack.
22. — Berline.
23. — Coupé Dorsay.
24. — Calèche américaine.
25. — Char-à-banc omnibus.
26. — Breack char-à-bancs.

Il y aurait lieu d'établir une série analogue pour les voitures de gros et de moyen charronnage et de donner beaucoup de détails importants. Comme l'espace nous manque, nous nous bornons à donner, pl. 242, le dessin complet d'un omnibus de la Compagnie générale de Paris. Nous empruntons au rapport du Conseil d'administration quelques renseignements intéressants qui sont relatifs au service de l'année 1866.

Chaque voiture a parcouru par jour, terme moyen, 91 kilomètres, 538 mètres; le travail moyen de chaque cheval de rang et de relais a été par jour de 16 kilomètres, 258 mètres.

Le nombre moyen de chevaux employés par voiture, pour chaque journée d'omnibus, a été de 11 89/100e.

Les omnibus de Paris ont transporté, en 1866, le nombre de 107,212,074 voyageurs ; par jour, 293,731 ; par voiture, 447; par course, 31.

Sur les 107,212,074 voyageurs transportés dans les omnibus de Paris, 89,880,857 ont payé place entière, soit 30 cent. dans l'intérieur et 15 cent. sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'impériale; les autres, c'est-à-dire 17,331,217 voyageurs, ont profité des correspondances.

La recette moyenne, par voyageur, a été de 0f.18 66/100e. La recette moyenne réalisée par chaque kilomètre parcouru par les voitures a été de 0f.90.

La recette par voyageur pour chaque kilomètre par les voitures a été de 3 cent. 48/100.

CHAPITRE QUATRIÈME.

Éléments des voitures.

Une voiture, quel que soit le modèle, comprend des *roues*, qui sont les organes du mouvement par rotation, un ou plusieurs axes horizontaux qui traversent les roues et sur lesquels repose le *corps* de la voiture ; ce sont les *essieux*. Enfin, les pièces nécessaires pour lier la voiture aux mouvements de l'attelage : ce sont les limon, limonière, ou le timon.

Roues en bois.

Une roue se compose d'un bloc central ou moyeu A, de rais B et de jantes C ; ces diverses pièces sont réunies par des assemblages et maintenues par des bandages de fer.

MOYEU. — Le moyeu a son diamètre maximum vers le milieu, mais généralement plus près de l'extrémité M qui regarde la voiture que de l'autre N. Les extrémités M et N présentent des diamètres inégaux mais plus petits que celui de la partie centrale. En M est le gros bout, en N le petit bout du moyeu. Dans la partie cylindrique sont taillées des mortaises obliques pour recevoir la patte des rais. Le moyeu est consolidé par des frettes placées à chaud pour qu'elles serrent le bois en se refroidissant. Ces frettes *d* sont maintenues par des clous. Enfin, pour que l'essieu ne frotte pas sur le bois on place à l'intérieur une boîte de roue en bronze qui est fixée par divers procédés qui seront indiqués.

RAIS. — Dans les rais, toujours en nombre pair, il faut distinguer trois parties : 1° Le corps du rai dont la section est un ovale irrégulier, le plus grand diamètre étant perpendiculaire au plan formé par l'extérieur des jantes ; cet ovale se raccorde en se renflant avec la base des épaulements de chaque côté ; 2° le tenon ou *patte* à section rectangulaire qui entre dans la mortaise du moyeu et qui a sa plus forte dimension égale à la largeur du rai ; 3° la *broche* ou tenon qui entre dans la mortaise des jantes sa plus forte dimension égale à l'épaisseur du rai et dirigée suivant la circonférence de la roue. Les embases des pattes et des broches qui portent sur la surface cylindrique du moyeu et sur les jantes se nomment les *épaulements* du rai. Les extrémités des pattes et des broches sont chanfreinées pour faciliter leur introduction dans les mortaises ; les pattes et les broches doivent être assez courtes pour que leurs extrémités ne portent ni sur la boîte de roue, ni sur le bandage. On nomme *roue en hérisson* l'ensemble du moyeu sur lequel sont fixés les rais avant qu'on ait placé les jantes.

JANTES. — Les jantes sont des pièces de bois courbées ou le plus ordinairement chantournées suivant la courbure qu'exige le diamètre de la roue. Il y a une jante pour deux rais. Les joints des jantes sont réunis par des goujons ou par des clavettes fixées dans des mortaises qui se correspondent sur la surface cylindrique extérieure.

BANDAGE OU CERCLE. — Lorsque toutes les pièces de la roue sont montées, on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entoure les jantes avec un cercle de fer d'une seule pièce qu'on chauffe pour augmenter son diamètre en l'allongeant. En se refroidissant, le cercle comprime tous les assemblages et maintient les diverses pièces. Le cercle est de plus fixé aux jantes par les boulons.

On appelle *roue en blanc* la roue montée qui n'a pas reçu encore le bandage, et *roue ferrée* celle qui est consolidée par un cercle.

Quand une roue est terminée, la surface extérieure des jantes forme un plan. On nomme *écuanteur* la distance du haut des pattes des rais à ce plan qui est plus grande que celle des broches à ce même plan. Le cercle est un peu moins large que les jantes, et le bois le déborde en dedans et en dehors. On s'assure ainsi que par la dessiccation du bois le fer du cercle ne manquera jamais dans ses bords de l'appui que le bois doit lui fournir. La surface interne de la couronne formée par les jantes n'est pas un plan comme la face opposée ; elle forme un cône très-évasé.

Par suite de l'*écuanteur* ou *écuage*, en anglais *dishing wheels*, mot à mot *roues en écuelles*, *roues écuellées*, l'ensemble des rais forme aussi un cône, les rais étant inclinés en dehors sur l'axe de l'essieu. Cette disposition a pour effet de faire de la roue un ensemble élastique qui peut se déformer légèrement sous les chocs et reprendre sa forme. Pendant le travail de la roue le rai qui est en bas et à peu près vertical supporte la charge, mais il est renforcé par l'action des autres rais et des jantes avec lesquels il fait corps.

« L'expérience aura appris au charron que des rais plantés droits sur le moyeu ne résisteraient pas suffisamment à la pression latérale de l'essieu quand la route est en dos d'âne, ou quand la roue tombe dans des trous; tandis que le rai incliné sur l'axe, devenant perpendiculaire à la courbure de la section de la roue, peut mieux supporter l'accroissement de poids qui tombe ainsi de son côté. On peut dire aussi qu'une roue à rais inclinés résiste plus sûrement, par sa forme concave, au choc latéral que reçoit le moyeu dans ces situations. »

Description des divers types de roues.

ROUES DE L'ARTILLERIE FRANÇAISE. — Nous ne nous occuperons que des roues qui peuvent servir à transporter les affûts et voitures; celles qui sont construites pour des affûts spéciaux, et qui n'ont d'autre destination que de les supporter et de faciliter le recul ou la mise en batterie, ne peuvent être l'objet de nos études que dans un chapitre traitant spécialement des affûts.

Notre artillerie emploie sept numéros de roues parmi lesquels nous distinguerons trois types différents : 1° roues en bois pour essieux en fer; 2° roues en bois pour essieux en bois; 3° roues à moyeu en fonte, avec des rais en bois et cercle en fer, sans interposition de jantes de bois.

Cette espèce de roues qui porte le n° 4 dans notre nomenclature n'est pas destinée aux transports à grande distance ; elle sert seulement à déplacer la pièce dans une même place forte. La roue n° 4 a $1^{m}.10$ de diamètre, son poids est de 176 kilog. Elle a dix rais en bois; le cercle a 110 millimètres de large sur 26 millimètres d'épaisseur. Le devant du cercle est en saillie sur les rais de 8 à 10 millimètres. Dix *clous de cercle*, de 16 millimètres de diamètre, sont chassés avec force sans graisser, dans des trous percés au bout de chaque rai.

La roue n° 5 de montagne se compose des mêmes éléments que les roues ordinaires. Elle n'en diffère que par le moyeu proportionnellement plus fort et qui est percé d'un trou beaucoup plus grand pour recevoir un essieu en bois. Cette disposition a été adoptée précisément parce qu'elle rend le roulement difficile et qu'elle diminue le recul. L'affût de montagne ne voyage sur ses roues que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par exception ; il est ordinairement porté à dos de mulet. Nous avons cru devoir signaler cette construction qui applique des procédés fort anciens, précisément pour rendre le tirage difficile. Pourtant on n'est pas revenu aux modèles les plus primitifs.

Le moyeu porte une boîte de roue en bronze forcée dans son logement. L'essieu en bois est assemblé avec le corps d'affût par des entailles. Un *équignon d'essieu* de 80 millimètres de largeur, sur 12 millimètres d'épaisseur, encastré dans son épaisseur et appliqué à chaque fusée par quatre clous, porte sur la boîte de roue et protége l'essieu dans le tir ou dans les déplacements par roulement. Une *plaque de fusée d'essieu*, encastrée de leur épaisseur et appliquées chacune par deux clous, protégent les fusées en dessus, contre les épaulements. Le système des fusées et des plaques qui les protégent est consolidé pour chacune, par une *frette de corps d'essieu* (largeur 40 millimètres, épaisseur 10 millimètres, appliquée à fleur des épaulements des fusées et arrêtée par trois goupilles à pointe), et par une *virole de bout d'essieu* ayant la même section que la frette, encastrée de son épaisseur, et fixée par un rivet de 8 millimètres.

Dans l'affût monté, les roues sont fixées par des *esses d'essieu*, mais il n'y a pas de rondelles comme pour les voitures ordinaires.

Le tableau suivant indique les éléments et les dimensions principales des roues de l'artillerie française.

NUMÉROS ET DESTINATION DES ROUES.	POUR voitures et affûts de siége.	POUR voitures et affûts de campagne avant 1859	POUR affût de 4 rayé et les voitures nouvelles de campagne.	D'AVANT-TRAIN pour chariot de parc, tombereau, triqueballe, etc.	D'AFFUT DE PLACE.	DE MONTAGNE.	DE TRIQUEBALLE.
BOIS.							
Moyeu	1	1		1	»	1	1
Rais	14	14		12	»	12	14
Jantes	7	7		6	»	6	7
Goujons à 8 pans (réunissant les jantes)	7	7		6	»	6	7
Coins (pour les rais)	14	14		12	»	12	14
FER.							
Cordons (nombre)	2	2		2	»	2	2
Frettes (idem)	2	2		2	»	2	2
Caboches (idem)	12	12		12	»	12	12
1 cercle. Largeur	100	72		72	110	45	100
1 cercle. Épaisseur	22	15		15	26	8	22
Boulons de cercle. Nombre	7	7		6	»	6	7
Boulons de cercle. Diamètre	26mm	22		22	»	15	26
Écrous et rosettes (nombre)	7	7		6	»	6	7
Crampons de boîte de roues	2	2		2	»	2	2
BRONZE.							
Une boîte de roue. Longr totale.	420mm	350mm		350mm			420mm
Une boîte de roue. Poids	12kg.275	7kg.300		7kg.300			12k.375
Hauteur. En blanc	1mm.520	1mm.460		1m.20	»	0m.040	2m.00
Hauteur. Ferrées	1mm.550	1mm.490		1m.230	1m.10	0m.956	2m.030
Écuanteur. En blanc	90	80		80	»	50	100
Écuanteur. Ferrées	100	90		90	»	57	115
Poids des roues ferrées.	155kg	102kg		85kg	176kg	23kg.50	206kg

Les roues de siége, de campagne et la roue nº 4 de place, appuient du côté de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'affût ou du corps de la voiture contre une rondelle dite d'*épaulement;* pour les affûts et voitures de siége et de campagne, une *rondelle de bout d'essieu*, également mobile, est traversée par l'essieu et maintenue dans sa position par l'*esse*, cheville en fer qui traverse le bout de l'essieu.

L'*esse* d'essieu se compose d'une tige rectangulaire et d'une tête qui la retient à la partie supérieure; le dessus de la tête porte un talon qui sert à retirer l'esse lorsqu'on veut graisser la roue ou la changer. L'extrémité de la tige est percée d'un trou dans lequel on introduit une lanière de cuir nouée ou une bande de tôle repliée, pour empêcher que les chocs fassent sortir l'esse de son logement.

La boîte de roue est chassée avec force dans le logement pratiqué dans le moyeu. Elle est de plus maintenue solidement aux oreilles par des crampons. Pour la roue n° 3, la boîte n'a pas d'oreilles; elle est percée à 25 millimètres du gros bout de quatre trous deg oupilles de 7 millimètres de diamètre, également espacés entre eux.

Essieux. — Edgeworth donne mal la véritable forme d'un bon essieu. « Il faudrait, dit-il, qu'il fût cylindrique en A et en B, où il touche la boîte, mais évidé entre ces deux points pour retenir la graisse. Il serait laissé un peu de jeu entre l'épaule de l'essieu et le chapeau ou écrou destiné à retenir la roue; car on a remarqué que les roues courent beaucoup plus librement quand les bords de leur moyeu frappent alternativement le collet de l'essieu et le chapeau ou esse.

« L'axe de l'essieu devrait être absolument droit. La plus légère attention fait découvrir l'inconvénient de le courber soit de côté, soit en bas.

« Quiconque a observé l'arrière-train d'une voiture dont l'essieu est très-courbé en bas a remarqué une sorte de tremblement imprimé au corps entier de la roue par l'opposition de son mouvement propre et naturel, qui est parfaitement circulaire et cylindrique, avec le mouvement conique auquel la dispose la courbure de l'essieu. Ce tremblement détruit la route, retarde la vitesse, déboîte les rais et fatigue la roue. »

Cette forme est vicieuse, parce qu'elle affaiblirait inutilement la fusée d'essieu; on obtient le même avantage de conserver le graissage, en augmentant en son milieu le diamètre intérieur de la boîte de roue.

Longueur des essieux. — Encore en 1827, on trouvait en France des essieux saillant en dehors du plan des jantes de 10, 15 et 20 pouces.

Systèmes d'enrayage.

Les voitures descendant sur les pentes tendent à accélérer leur mouvement. Pour les voitures légères, les chevaux fixés à la limonière ou au timon retiennent dans ce cas. Pour les voitures lourdes, même pour les voitures légères conduites par des chevaux vifs, il est souvent nécessaire, toujours avantageux, de diminuer dans ce cas la facilité du roulement. C'est ce qu'on fait en enrayant. *Enrayer*, c'est fixer une roue qui glisse sur le sol au lieu de tourner. Il y a divers procédés d'enrayage.

1° La chaîne d'enrayage constitue le plus simple.

2° Pour éviter que le rai ne soit endommagé par la chaîne dans les voitures plus lourdement chargées, on fait la chaîne en deux parties, réunies par un cordage de 12 à 18 millimètres, qui passe plusieurs fois dans les anneaux contigus, et qui est cordé de manière à former un câble de 35 à 40 millimètres de diamètre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

assez long pour que le bois de la roue ne soit pas en contact avec la chaine fermée pour l'enrayage. C'est le système adopté par l'artillerie française pour les voitures de siége.

Il préserve les rais des dégradations de la chaîne ; mais il a de commun avec la chaîne l'inconvénient très-grave de fatiguer une partie de la roue, en même temps que la portion du cercle qui frotte sur le sol s'use souvent beaucoup. Aussi est-il nécessaire, quand la descente est longue, d'arrêter plusieurs fois, de désenrayer et de d'enrayer de nouveau, en fixant la chaîne ou la corde entre des rais différents. On répartit ainsi en plusieurs points la fatigue et l'usure.

On évite ces inconvénients avec le sabot ou plaque de fer à rebords, qui est fixé au corps de la voiture par une chaîne ; en le plaçant dans une roue, il l'empêche de tourner et pourtant la roue n'est pas dégradée. C'est le sabot qui supporte seul l'usure résultant du frottement sur le sol.

On désigne vulgairement sous le nom de *mécanique* un frein qui est très-employé en particulier pour les voitures qui vont à des allures vives. Il se compose d'un arc de cercle qu'on presse contre le cercle de la roue généralement au moyen d'une vis.

MODES DE SUSPENSION EMPLOYÉS POUR LES VOITURES.

Le plus simple consiste dans l'emploi de cordes ou de lanières de cuir qui supportent le siége. Ici il y aurait lieu d'entrer dans de longs détails et d'examiner :

Voitures de gala, de grand luxe, de luxe ordinaire ;
Voitures d'exportation, de services publics ;
Pièces détachées de charronnage, de ferronneries, etc.
Marchepieds mécaniques, à une ou deux marches, qui se ferment et s'ouvrent en même temps que la porte ; fermés, ils évitent la boue ; ingénieux, pourtant peu employés, présentent plus d'inconvénients que d'avantages.

Nous nous contenterons de faire l'observation suivante :

Les machines fixes les plus perfectionnées ont besoin d'un entretien constant de graissage et de propreté, et d'être réparées souvent, parce que leurs organes s'usent, et dès que les distances de leurs lieux géométriques sont déplacées, les machines ne fonctionnent plus ou fonctionnent mal. Mais les machines appliquées aux voitures sont bien autrement exposées que les machines fixes ; elles reçoivent la poussière et la boue en grande quantité. Pour entretenir leurs organes dans l'état de propreté qu'elles exigent, il faudrait les démonter souvent. C'est ce que l'on ne fait pas, car ce serait leur condamnation ; aussi elles s'usent vite et finissent par ne plus fonctionner, ou par faire entendre un ferraillement très-désagréable. Alors il faut ramener la voiture chez le carrossier et s'en priver pour un organe tout à fait secondaire.

En dehors de ce que je viens de signaler, il y a encore d'autres causes qui font rejeter ces machines par les carrossiers de bon goût : c'est qu'elles laissent apercevoir ou des vides ou des remplissages, ou des branches de fer qui souvent gênent la garniture, et empêchent les lignes régulières qui font tout le cachet d'une voiture.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tableau. — Roues montées.

DÉSIGNATION DES ROUES.	LARGEUR DES RAIS.	CERCLE de roue en fer.			DIAMÈTRE ou hauteur de la roue.		ÉCUANTEUR.		ROUE TERMINÉE.		
		Largeur.	Épaisseur.	Poids.	En blanc.	Ferrée.	En blanc.	Ferrée.	Poids.	Prix.	Poids que supporte la roue dans le service.
	mm	mm	mm				mm	mm	kg		
Gros charronnage.											
N° 1. De l'artillerie française....	695	100	22	»	1.520	1.550	90	100	155	»	(1)
N° 2. — —	670	72	15	»	1.460	1.490	80	90	102	»	
N° 2 *bis*). — —	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	
N° 3. — —	550	72	15	»	1.200	1.230	80	90	85	»	
N° 4. — —	470	110	26	»	»	1.100	»	»	176	»	
N° 5. — —	420	45	8	»	0.940	0.956	50	57	23	»	
N° 6 (*de triqueballe*). —	920	100	22	»	2m.00	2.030	100	115	206	»	
Roues pour tapissières à deux roues.	55	50	20	38	»	1.450	»	»	»	62	
— — .	60	55	22	46	»	1.450	»	»	»	67	
— — .	65	60	22	53	»	1.450	»	»	»	77	
Roues pour charrettes à deux roues.	70	65	25	70	»	1.450	»	»	»	80	
— — .	75	70	25	75	»	1.450	»	»	»	85	
Roues pour voitures à un cheval...	78	75	27	86	»	1.600	»	»	»	95	
— — ...	80	80	27	92	»	1.600	»	»	»	105	
— — ...	85	95	27	113	»	1.600	»	»	»	114	
Roues dites de quatre pouces.....	95	108	30	142	»	1.800	»	»	»	140	
Roues dites de quatre pouces fortes.	100	108	33	160	»	1.800	»	»	»	155	
Roues dites de quatre pouces fortes.	105	108	35	175	»	1.800	»	»	»	175	
Roues dites de cinq pouces.....	110	135	38	229	»	1.800	»	»	»	185	
Roues pour harnais à pierre et moellonnières.....	120	135	42	267	»	1.850	»	»	»	230	
Roues pour voitures de brasseurs...	65	68	25	»	»	»	»	»	»	»	
Roues pour camions.....	60	55	27	»	»	450	»	»	»	70	
—	65	60	27	»	»	450	»	»	»	32	
—	60	55	25	»	»	500	»	»	»	35	
—	65	60	27	»	»	500	»	»	»	32	
—	60	55	25	»	»	550	»	»	»	35	
—	65	60	25	»	»	550	»	»	»	32	
—	60	60	27	»	»	600	»	»	»	35	
—	65	60	27	»	»	600	»	»	»	35	
—	65	60	25	»	»	650	»	»	»	35	
—	70	68	27	»	»	650	»	»	»	35	
—	65	60	25	»	»	700	»	»	»	32	
—	75	75	29	»	»	700	»	»	»	35	
—	70	68	25	»	»	700	»	»	»	50	
—	75	75	29	»	»	750	»	»	»	37	
—	78	75	27	»	»	800	»	»	»	50	
—	78	75	29	»	»	900	»	»	»	52	
—	82	80	29	»	»	750	»	»	»	55	
—	82	80	29	»	»	850	»	»	»	57	
—	55	50	25	»	»	850	»	»	»	45	
—	75	68	29	»	»	800	»	»	»	50	
—	75	68	27	»	»	900	»	»	»	50	
Roues pour fardiers.....	105	108	26	»	»	2.500	»	»	»	342	
—	125	135	40	»	»	2.630	»	»	»	455	
Roues pour brouettes.....	»	»	»	»	»	500	»	»	»	4f 50	

1. Le désir de ne pas retarder plus longtemps la publication de ce fascicule nous force à laisser en blanc cette dernière colonne, dont les indications ne présenteraient pas d'ailleurs un bien grand intérêt pour nos lecteurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE CINQUIÈME.

Études théoriques sur les divers moyens de transport, et particulièrement sur le roulage des voitures.

Les divers procédés que nous avons indiqués pour le déplacement et le transport des fardeaux sont encore employés aujourd'hui, et chacun d'eux peut convenir dans certaines circonstances. Mais au point de vue de l'effort qu'il faut exercer, ils ne sont pas également avantageux, comme on en jugera par les exemples suivants :

Une caisse pesant 100 kilogrammes exigerait un effort de 100 kilogrammes si plusieurs hommes voulaient la transporter d'un lieu à un autre. Cet effort varie dans les conditions suivantes :

1°	En la tirant sur une route pavée, il n'est plus que.....	57 kilog.
2°	La caisse portée sur des roulettes de 0m.75 de diamètre.	24
3°	— de 1m.00 — .	18
4°	— de 1m.50 — .	12
5°	Sur des rouleaux de 0m.09 de diamètre.....	10

Frottement de glissement. — Lorsqu'un corps A est posé sur un autre B, si on veut le soulever, il faut faire un effort égal à son poids. Au contraire, la surface B étant supposée horizontale, si on agit pour déplacer A sans le soulever, on n'aura plus à surmonter son poids, qui est supporté par B; on aura à vaincre une résistance particulière qui provient de l'adhérence des surfaces en contact et qu'on nomme *frottement de glissement*. Le frottement est proportionnel au poids du corps A, et il varie avec la nature des corps qui sont en contact, et diminue généralement par l'interposition des corps gras. Il est indépendant de l'étendue des surfaces en contact et de la vitesse du mouvement.

On désigne ordinairement par f le rapport $\frac{q}{p}$ où q représente la résistance absolue d'un corps glissant sur un autre, et p le poids du corps en mouvement. Ce rapport se nomme le *coefficient de frottement*. On trouve dans des tables les différentes valeurs de f, qu'on a occasion d'appliquer, et qui ont été déterminées par l'expérience. Ces tables servent à calculer le frottement et l'effort à vaincre pour faire glisser un corps dont on connaît la nature et le poids sur une surface donnée.

L'expérience a prouvé que l'on éprouve une résistance plus considérable à séparer deux corps qui ont été longtemps en contact qu'à les faire glisser l'un sur l'autre lorsque le mouvement est commencé. Mais un ébranlement assez faible suffit pour déterminer la séparation des surfaces, sous un effort peu supérieur à celui qui est nécessaire pour vaincre le frottement pendant le mouvement.

Pour calculer la quantité de travail absorbée par le frottement de deux surfaces planes glissant l'une sur l'autre d'une longueur donnée, on multiplie la pression par le coefficient de frottement, et le produit doit être multiplié par l'espace parcouru par la surface qu'on a déplacée.

Pour le frottement des *tourillons* et des *pivots* dans des coussinets, il faut d'abord déterminer la pression supportée. Comme généralement un axe de rotation est soumis à plusieurs forces, sans compter son poids, il faut composer ces forces. Dans la pratique, on peut se passer de faire une épure en se servant de procédés suffisamment approximatifs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si toutes les forces sont verticales, on les ajoute au poids de l'arbre pour avoir la pression cherchée. S'il y a des forces horizontales et d'autres verticales, on fait la somme de chacun de ces groupes de forces, et l'on ajoute les 0.96 de la plus grande somme aux 0,4 de la plus petite, ce qui donne la pression cherchée à 0.04 près. S'il y a des forces dans une direction inclinée, on les décompose en forces horizontales et forces verticales, et l'on opère comme précédemment.

Cela posé, soit f le coefficient de frottement déterminé spécialement pour le cas des tourillons, p la pression, r le rayon du tourillon, et n le nombre de tours qu'a fait le tourillon : le travail absorbé par le frottement est donné par la formule $2\pi rnfp$.

Dans le cas des tourillons, le graissage est nécessaire à cause de l'échauffement qui se produit rapidement entre deux surfaces très-limitées, frottant continuellement l'une sur l'autre.

Ainsi, bois sur bois, le frottement des tourillons varie de 0.48 à 0.06, suivant que les surfaces sont sèches ou onctueuses ; le minimum du coefficient de frottement à sec est 0.20.

Pour les métaux, le coefficient de frottement à sec varie de 0.24 à 0.15, et il descend à 0.06 avec les meilleurs enduits.

Frottement de roulement. — Si le corps qui repose sur un autre et qu'on veut déplacer est cylindrique, on éprouvera une moindre résistance à le faire rouler que si on le tirait. Dans ce dernier cas, on aurait eu à vaincre le *frottement de glissement* ou de *première espèce* ; dans le premier cas, on surmonte la résistance ou le *frottement de roulement*, qu'on appelle aussi *frottement de deuxième espèce*.

L'intensité de frottement de roulement dépend de l'état des surfaces, du poids et du diamètre des rouleaux. Les résultats d'expérience ne sont ni aussi nombreux, ni aussi unanimement acceptés que pour le glissement. Nous donnerons quelques coefficients dans lesquels des rouleaux de même diamètre ont été expérimentés pour constater l'influence qu'exerce la nature des surfaces.

Rouleaux, en bois d'*orme* ou de *chêne*, sur un pavé uni....	0.0074
Rouleaux d'*orme* sur un plancher horizontal en *chêne*	0.0016
Rouleaux de *gayac* sur un plancher horizontal en *chêne*..	0.0001

Lorsqu'on se sert de rouleaux, le fardeau à déplacer reçoit un double mouvement. Si les rouleaux étaient fixes et tournaient, ils pousseraient le corps en avant dans le sens de la rotation de leur partie supérieure et d'une longueur égale à celle de la partie de la circonférence qui, pendant la rotation, aurait été en contact avec ce corps. D'un autre côté, en supposant un rouleau R roulant librement sur le sol, lorsqu'il aura fait un tour entier, il se sera déplacé d'une longueur égale à sa circonférence, et se trouvera en R'. Par conséquent, le far-

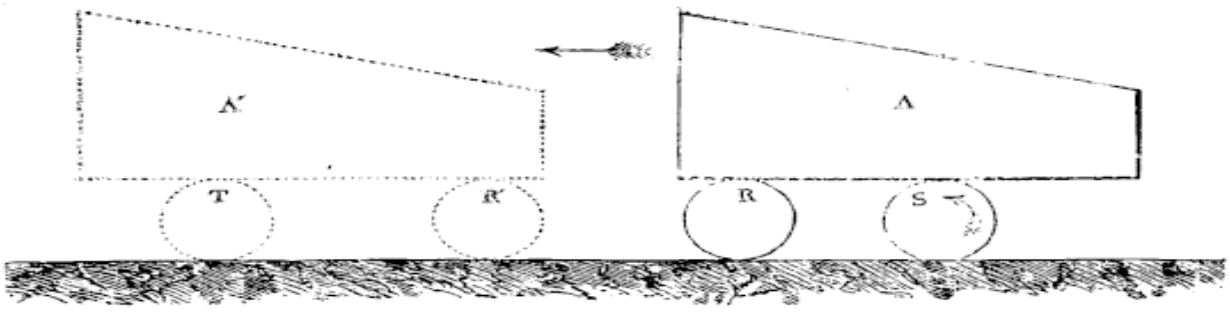


Fig. 1.

deau A (fig. 1) aura avancé de cette longueur par suite du déplacement du rou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leau, et d'une autre longueur égale par l'action que le rouleau a exercée sur sa surface inférieure. Il a donc parcouru deux fois plus de chemin que le rouleau, et se trouve dans la position A'.

L'avance que le fardeau gagne ainsi fait que, dans le cas actuel, il a laissé en arrière le rouleau S, et qu'il a fallu lui présenter un nouveau rouleau T au moment où son centre de gravité allait tomber en dehors des Rouleaux R et S. Si on continuait le déplacement dans le même sens, le rouleau R, qui est dans la position R', ne tarderait pas à rester en arrière; il faudrait donc disposer, en avant du fardeau, un autre rouleau qui vienne en prise avant que A' abandonne le rouleau R', ce qui le ferait tomber sur le sol par son extrémité antérieure. Le centre de gravité se trouverait ainsi abaissé; il faudrait faire un effort pour soulever le poids A' et le remettre sur les rouleaux.

Pour faire avancer le fardeau, on le tire avec des cordages, ou on le pousse au moyen de leviers. Mais on voit que ce procédé, très-parfait au point de vue des résistances relativement faibles qu'il laisse à vaincre, ne se prête que difficilement aux transports éloignés, à moins qu'on ne puisse y employer beaucoup de temps. Il exige des efforts intermittents, une attention soutenue pour le remplacement des rouleaux.

Les rouleaux fixes, tournant autour de deux tourillons situés dans l'axe à chaque extrémité, sont très-employés comme organes des machines-outils. Ils produisent le déplacement très-régulier d'un chariot qui supporte l'objet sur lequel doit agir l'outil.

Roulement des voitures. — La question du roulement des voitures est infiniment plus complexe. Aussi beaucoup de points restent à éclaircir, malgré les nombreux travaux qui se sont produits dans notre siècle. La complication existe déjà dans les cas les plus simples que l'on considère pour appliquer le calcul. En supposant le sol horizontal, uni, incompressible; la roue cylindrique et rigide; en faisant abstraction de la masse des roues, de l'élasticité du corps de la voiture, etc. Quand on se reporte aux innombrables cas de la pratique avec la diversité des terrains, les formes variées des voitures, leurs destinations et leurs vitesses différentes, on trouve les difficultés les plus sérieuses. Le plus souvent, on ne considère le système d'une voiture et de ses roues que lorsque le mouvement est uniforme, et que les résistances sont constantes ainsi que le tirage.

Il serait pourtant d'autant plus nécessaire d'opérer autrement que c'est surtout dans ces moments que la traction exige un effort considérable, et que l'attelage doit donner un coup de collier. Ce fait s'impose à l'attention de tous lorsqu'une voiture se met en mouvement, et qu'il faut vaincre l'inertie de la masse et l'adhérence des roues sur le sol. Mais il se rencontre, dans beaucoup de cas de la pratique, à des degrés différents, toutes les fois qu'un obstacle se présente, que le terrain change de nature ou que l'inclinaison varie. Tous ces faits, observés il est vrai, sont loin d'être complétement étudiés; chacun d'eux doit exercer, sur la construction et la conduite des voitures, une influence sérieuse, et fixer des règles que la pratique n'a pas toujours données. Nous aurons occasion de signaler plusieurs fois l'action utile qu'ont eue les études théoriques pour modifier des pratiques que l'usage avait accréditées, et qui étaient également funestes à la sécurité publique, à la conservation des routes et à une bonne utilisation des forces. Il y a lieu de remarquer que les voituriers ont intérêt à transporter le plus de poids qu'ils peuvent, sans s'inquiéter des dégradations qu'ils font aux routes entretenues aux frais du public. Souvent même, par ignorance, ils surmènent et surchargent leurs chevaux, au préjudice de leurs propres intérêts; c'est aussi contrairement à leur intérêt, bien entendu, qu'ils ont maintenu long-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

temps des principes de construction nuisibles à la conservation des chemins, et augmentant la fatigue de leurs attelages.

L'étude du tirage des voitures se propose de rechercher quelles sont les dimensions et les formes des divers éléments des voitures, qui permettent de transporter les fardeaux aux moindres frais. Les types de voiture peuvent varier, comme on le verra, suivant la nature des fardeaux, suivant l'état des routes et la vitesse exigée pour les transports. Pourtant certaines conditions s'appliquent à toutes les voitures, et c'est de celles-là que nous nous occuperons surtout, quoique nous ne puissions indiquer que sommairement la théorie du tirage des voitures.

Le *travail mécanique* est proportionnel à la résistance vaincue et au chemin parcouru ; il comprend de plus le temps comme élément qu'on ne saurait négliger. L'*unité de travail* est le travail nécessaire pour élever 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur en une seconde. Ainsi 7 kilogrammes, élevés à 8 mètres de hauteur en une seconde, correspondent à 56 kilogrammes élevés à 1 mètre, et l'on écrit 56 kilogrammètres. On comprend que si l'on avait mis deux secondes à faire le même travail, on aurait pu le faire avec une force moitié moindre agissant pendant un temps double. Quelques différences qu'il y ait dans les moyens d'action, tous les efforts qui tendent à vaincre des résistances dans les travaux industriels peuvent être comparés à l'élévation des poids, et rapportés au kilogrammètre.

Ainsi, dans le transport horizontal des fardeaux, quel que soit le mode employé, il y a toujours un poids déplacé à une certaine distance. Ce n'est pas le poids transporté, multiplié par le chemin parcouru, qui est le travail dynamique réel, directement comparable; car la pesanteur n'agit pas dans le sens du tirage : les appareils employés pour les transports exigent des efforts horizontaux ou agissant sur une ligne peu inclinée à l'horizon. Mais ces efforts, qui varient avec le poids du fardeau, avec la construction du véhicule, l'état des routes, etc., auraient pu servir à élever un poids donné à une certaine hauteur.. Après ces observations préliminaires, qui nous ont semblé indispensables pour éviter toute équivoque, nous citons d'abord quelques observations et des résultats d'expériences faites pour démontrer l'influence qu'exercent les dimensions des divers éléments des voitures. Nous résumerons ensuite les résultats qu'ont produits ces études.

Les premières expériences, suivies d'une manière scientifique, datent du siècle dernier ; Gersfner et Namer ont produit des considérations théoriques très-importantes. Nous pouvons citer encore les travaux de Kroukep (1802), de Macneil, Dupuit, Camus, Couplet, Bezout, Muller, Krœncke, Fuss, Lesage, Désaguliers, Helsmans, Bourne, Jacob, Anstice, Lowel Edgeworth (1813). Camus (1722) a démontré le premier que la résistance due au frottement de l'essieu dépend du rayon de la boîte et non de celui de la fusée; que les grandes roues sont plus avantageuses que les petites pour le tirage, qu'elles dégradent moins les routes, que les jantes étroites s'usent plus promptement que les larges, s'enfoncent plus dans le sol et éprouvent plus de résistance.

Couplet a montré l'influence de l'inclinaison du tirage sur la résistance que les obstacles opposent au mouvement de la roue. En 1824, il soumit au calcul la question du tirage des voitures, en tenant compte de l'inertie des roues dans leur rotation. Poisson a traité la même question en 1826, au point de vue du recul des canons. On pourrait encore citer d'excellents mémoires, présentés aux Académies ou publiés par des revues scientifiques. Enfin, les expériences nombreuses, faites avec des appareils très-précis, par M. Morin, ont apporté les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

derniers renseignements sur lesquels s'appuient aujourd'hui les règlements sur les voitures et les principes des constructeurs.

Edgeworth cite l'expérience suivante : « Une roue de 7 pouces (177mm.8) de diamètre, chargée de 20 livres (9k.060), exige 8 livres (3k.624) pour lui faire surmonter un obstacle élevé de 1/4 de pouce (6mm.35), égal à 1/28 du diamètre, tandis que 4 livres (1k.812), appliquées à une roue de 28 pouces (711mm.2) de diamètre, firent passer la même charge par-dessus le même obstacle; mais, dans ces deux expériences, les roues étaient tirées dans une direction faisant angle droit avec une ligne menée du centre de chaque roue au sommet de l'obstacle.

« Quand la ligne du tirage était horizontale, la plus grande roue exigeait 4 livres 4 onces (1k.913); la plus petite, 9 livres (4k.077). »

Edgeworth conclut de cette expérience que, sur les routes inégales, les grandes roues sont plus avantageuses que les petites. Il admet une exception que nous ne saurions accepter : c'est que « les roues élevées sont de beaucoup préférables aux basses, dans les mauvaises routes, excepté lorsque la forme des inégalités de la route est telle que la petite puisse y *rouler*, tandis que la grande ne peut porter que sur les bords de la flache ou du trou qu'il s'agit de franchir. Il y a lieu à cette exception en faveur des roues basses, si la flache est assez grande pour admettre la petite roue, et si ces issues sont inclinées; car la petite roue, descendant dans le trou et le remontant sur deux plans inclinés en sens contraire, réunis au point le plus bas, la descente sur le premier de ces plans donnera au véhicule une impulsion qui l'aidera à remonter sur l'autre; tandis que, si le trou est profond, la grande roue, au lieu d'y descendre, viendra frapper sur ses bords, et fera ainsi obstacle au tirage. »

Dans ce cas il y aura un choc, cause de perte de force; mais le centre de gravité du système se sera moins abaissé, et il n'est pas possible de dire, d'une manière générale, que les petites roues seraient avantageuses. Du reste, comme elles présentent des inconvénients dans les cas ordinaires, il n'y aurait pas lieu de les adopter pour ce cas particulier.

Quoique les grandes roues soient avantageuses, on ne peut pas augmenter leur diamètre au delà de certaines limites. Leur poids et leur prix augmentent rapidement. L'accroissement de la puissance mécanique, pour diminuer le tirage, n'est pas proportionnel aux diamètres des roues; il augmente seulement en raison des racines carrées des diamètres, d'après Edgeworth.

En admettant ce résultat d'expérience, il faudrait diminuer du fardeau l'augmentation de poids des roues.

Les résistances n'ont pas manqué à l'énoncé de cette théorie. On a prétendu, par exemple, que, dans les montées, le centre de gravité d'une grande roue tombe beaucoup plus en arrière du point d'appui sur le sol que celui d'une petite roue, et on a dit que la résistance à la traction devait augmenter. Il suffit d'observer que le bras de levier de la puissance, où le rayon du rai, augmente dans la même proportion, de sorte qu'il n'y a rien de changé aux conditions ordinaires.

Dans les voitures à quatre roues, les roues d'avant-train sont généralement plus petites, afin de faciliter le tournant. Les constructeurs ont cru, pendant longtemps, qu'en faisant les roues de derrière d'un plus grand diamètre que celles de devant ils facilitaient le tirage, parce que alors les roues de derrière poussaient les voitures sur les autres : cette appréciation ne vaut pas la peine d'être réfutée.

Nous citerons les principales conclusions de M. Morin :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° La résistance opposée au roulement des voitures de toute espèce par les différents sols est proportionnelle à la pression et en rayon inverse du rayon des roues.

2° Les dégradations produites sur les routes sont d'autant plus grandes que les roues sont plus petites.

3° Sur les terrains compressibles, tels que la terre, le sable, le gravier, les rechargements en matériaux mobiles, la résistance au roulement décroît à mesure que la largeur des bandes augmente, et elle est indépendante de la vitesse pour toute les voitures.

4° Sur les chaussées pavées et les routes ordinaires en empierrement, la résistance est à peu près indépendante de la largeur de la bande, dès que celle-ci a atteint $0^m.08$ ou $0^m.10$, et elle croit avec la vitesse, de manière que les accroissements sont proportionnels, à partir de la vitesse de 1 mètre par seconde. L'augmentation est d'autant moindre que la voiture est mieux suspendue et la route plus unie; au pas, la résistance est la même pour les voitures suspendues et non suspendues.

5° Les voitures non suspendues, allant au pas, fatiguent et détériorent davantage les routes que les voitures suspendues allant au trot.

6° Sur les routes en empierrement et sur le pavé, la résistance est sensiblement indépendante de la largeur des jantes. Il en est autrement sur le bois et les sols compressibles, où la résistance augmente à mesure que cette largeur diminue.

7° La résistance croît, avec la vitesse, sur le pavé et les routes en empierrement.

8° La résistance est proportionnelle à la pression.

L'Académie des Sciences n'a pas admis, comme rigoureusement fondée, la concordance entre les résultats d'expériences et les lois que l'auteur a cru pouvoir en déduire. En citant diverses expériences de M. Morin, le rapporteur, M. Piobert, s'exprime ainsi :

« Tous ces résultats semblent s'accorder pour montrer que la résistance au roulement est proportionnelle à la raison inverse d'une puissance du rayon, qui varie généralement de 3/4 à 4/5, suivant que la route est plus ou moins compressible, et qui n'atteint l'unité que lorsque le sol est parfaitement dur. Cette variabilité de la puissance, à laquelle il faut élever le rayon de la roue pour représenter la résistance, a également été observée par l'un de nous, en 1821. »

Sur les routes pavées en grès, la puissance du rayon est descendue, dans certains cas, sensiblement au-dessous de 3/4.

L'influence de la vitesse sur la résistance varie avec la nature des terrains sur lesquels s'effectue le roulement. On comprend que, sur les sols compressibles, l'enfoncement des roues, qui ne peut pas être instantané, est moins considérable lorsque la voiture marche vite; cette diminution doit neutraliser en partie l'augmentation d'effort qu'exige une plus grande vitesse. Aussi l'on peut comprendre que la traction exige la même dépense de forces pour aller au pas à une vitesse v, que pour marcher à une certaine vitesse V; mais il est difficile d'admettre qu'il en soit ainsi pour toutes les vitesses qu'on peut donner à la voiture. On doit remarquer pourtant que, dans les terrains mous, l'accroissement de vitesse doit augmenter beaucoup moins la résistance au roulement que sur les terrains durs, parce qu'il y a moins de chocs.

Sur les routes en empierrements, la résistance a varié, dans certains cas, à très-peu près, comme la puissance 8/7 de la charge; sur des routes pavées, la résistance a augmenté comme la puissance 6/5 de la pression. On voit qu'on ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peut pas rigoureusement apprécier l'influence de la charge par une simple loi de proportionnalité.

Les expériences sur le tirage des voitures doivent considérer également les dégradations que les dimensions des diverses parties du matériel roulant produisent sur les routes aux diverses allures. Navier a indiqué un excellent mode d'expérimentation qui consiste à mesurer « l'intensité moyenne du tirage auquel donne lieu une roue qui repasse un très-grand nombre de fois à peu près sur la même trace.

« La simple observation de la trace que laisse une roue sur la route n'est nullement propre à fixer les idées, ni même à rien apprendre sur ce sujet de véritablement utile. Car cette trace, dont on ne peut d'ailleurs mesurer la profondeur avec l'exactitude nécessaire, indique tout au plus l'effet de la roue sur la surface de la chaussée ; elle ne fait point connaître ce qui se passe dans l'intérieur de cette chaussée, où il se produit cependant (comme on l'a observé) d'autres effets qui méritent bien d'être pris en considération. [1] »

1. *Considérations sur les principes de la police du roulage*, Paris, 1835.

MICHEL ROUS,
Capitaine d'artillerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXV

LA PAPETERIE

(CLASSE VII)

PAR **MM. PAYEN**, MEMBRE DE L'INSTITUT, et **VIGREUX**, INGÉNIEUR CIVIL.

II

SUCCÉDANÉS DES CHIFFONS

ET ÉTAT ACTUEL DE LA QUESTION DES SUCCÉDANÉS.

Parmi les nombreux et importants produits qui, cependant, attirent peu les regards dans l'immense exposition internationale, nous pouvons citer les pâtes à papier de nouvelle origine.

Chacun sait, en effet, que les débris de tissus de chanvre, de lin, de coton et de plusieurs autres substances textiles deviennent de jour en jour trop rares à mesure que la fabrication et la consommation du papier acquièrent de plus grandes proportions, à mesure que l'instruction se propage et que les publications prennent un essor plus rapide.

De cet état de choses, de cette sorte de nécessité suprême est née une grande industrie qui se développe en France, en Belgique, en Allemagne, en Angleterre, en Amérique, dont le but est d'extraire la cellulose fibreuse, à différents degrés d'épuration et même blanche et pure (sauf quelques dix-millièmes de matières minérales), de végétaux qui, jusqu'alors, n'avaient fourni aucune quantité de matière première à la papeterie.

§ 1. — Matières premières du papier.

Considérées d'un point de vue général, les matières premières destinées à la fabrication du papier blanc présentent des caractères communs et des variétés spéciales qu'il est facile de définir : toutes doivent pouvoir, après une épuration aussi complète que possible, être amenées à l'état de cellulose fibreuse et résistante.

La cellulose pure, formant la trame des cellules et des fibres végétales, présente toujours la composition chimique qu'indique la formule $C^{12} H^{10} O^{10}$, c'est-à-dire qu'elle contient en poids du carbone 0.44..., plus de l'hydrogène et et de l'oxygène 0.55..., ces deux éléments étant entre eux suivant les rapports qui constituent l'eau, ou comme 12.5 d'hydrogène est à 106 d'oxygène.

Une condition indispensable que doit, en outre, remplir cette substance organique, après avoir subi l'action des agents chimiques (eau, soude, chaux, chlore) qui l'ont débarrassée des substances étrangères (matières azotées, grasses, colorantes, salines, etc.), c'est qu'elle demeure sous la forme de filaments plus ou moins allongés, et assez souples pour se feutrer en s'entrecroisant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur ce dernier point, on reconnait aujourd'hui trois grandes classes de matières premières : le coton (poils de la graine du cotonnier, *Gossypium herbaceum*, *G. indicum*, *G. arboreum*, etc.), formé de tubes facilement visibles au microscope, à parois tellement minces que, sous la moindre pression, ils se dépriment en rubans. Dans la seconde classe, on peut ranger les fibres textiles corticales ou disséminées dans les tissus cellulaires de diverses plantes (chanvre, lin, *Agave Am.*, *Phormium tenax*, jute, *Corchorus capsularis*, bananier, *Musa textilis*, china-grass, *Urtica nivea* ou *Bœhmeria*). Ces fibres, généralement très-longues, sont caractérisées par leurs parois épaisses formées de couches concentriques de cellulose douée d'une cohésion graduellement moindre de la superficie, plus anciennement sécrétée, jusqu'aux parois internes de la formation la plus récente; il se rencontre toujours dans la cavité tubulaire des substances azotées et grasses et même parfois des granules amylacés isomériques avec la cellulose, mais plus faiblement agrégés, attaquables par l'eau bouillante et susceptibles de bleuir par l'iode. Toutes ces fibres à parois épaisses gardent, sans se déprimer sous le microscope, leur forme cylindroïque ou prismatique, et se distinguent aisément par là, lors même qu'elles sont engagées dans le feutrage du papier, des minces tubes du coton aplatis et contournés en rubans.

Les fibres textiles précitées ont un diamètre plus ou moins fort, et sont plus grossières ou plus fines, suivant qu'elles proviennent de plantes plus ou moins développées et sont elles-mêmes plus ou moins jeunes[1]. On peut ranger dans la même classe les feuillets du liber, formés de fibres anastomosées, plus ou moins ténues selon qu'elles proviennent des tiges ou rameaux plus ou moins jeunes, d'arbres ou d'arbustes. Ces fibres, dont les Chinois et les Japonais obtiennent de si remarquables *papiers-étoffes*, entreraient sans difficulté dans la confection de nos pâtes à papier, si l'on pouvait se les procurer à un prix convenable.

Dans la troisième classe des matières premières du papier, on peut ranger les différents succédanés du chiffon : fibrilles de la paille des céréales, du sparte, et cellulose fibreuse extraite du bois. Ces fibrilles ou membranes, généralement plus minces et plus courtes que les produits des chiffons, peuvent cependant entrer en proportions de 0.3 à 0.8 dans la composition des pâtes à papier blanc, et même constituer seules certains papiers de pliage et d'impression. Nous y reviendrons plus loin.

§ 2. — Pâtes des fibres, du bois, de la paille, etc.

Un procédé mécanique et quatre procédés chimiques se sont fondés depuis peu de temps en vue de fournir économiquement aux papeteries plusieurs succédanés des chiffons.

Le procédé mécanique le plus remarquable est dû à M. Wœlter. Ses machines sont actuellement employées au nombre de plus de quatre-vingts en Allemagne et en Belgique; en France, les usines de Pontcharra, près de Grenoble (Isère), et Domène produisent chaque jour, avec quatre machines, 2,000 kilogrammes de pâte sèche.

Le procédé Wœlter consiste en une sorte de râpage du bois continuellement

1. C'est ainsi, par exemple, que l'on peut obtenir les plus déliés et flexibles filaments de lin, propres aux fins tissus de *batiste*, à l'aide d'une culture serrée de la plante, qui donne des tiges grêles et qu'on a le soin de récolter en fleurs ou avant la formation de la graine. On comprend que les débris de ces tissus puissent donner un papier à la fois fin et très-résistant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouillé, appuyé parallèlement à ses fibres, ou à l'axe de l'arbre, contre la surface cylindrique d'une meule de *grès* [1].

1° Le *défibreur*, ou meule de grès qui doit effectuer le rude frottement, use et désagrége les fibres ligneuses; 2° la série des tambours garnis de toiles métalliques de plusieurs numéros séparent les fibres par un tamisage dans l'eau; 3° le raffineur, dont l'effet utile est de convertir les pâtes des numéros inférieurs en pâtes affinées.

Voici comment on opère : le bois est d'abord débité en tronçons de 35 à 37 centimètres de longueur; on enlève l'écorce avec une plane de charron et les nœuds à l'aide d'une machine à percer; les tronçons les plus gros sont refendus à la scie circulaire ; c'est alors qu'on les porte au défibreur. Le principal organe de celui-ci est une meule en grès de $1^{m}.20$ de diamètre et 40 centimètres d'épaisseur: son axe est horizontal et tourne avec une vitesse de 150 tours par minute, entre deux bâtis en fonte, absorbant une force de 45 à 55 chevaux. Une machine Wœlter, employant une force moyenne de 50 chevaux, ne fournit pas plus de 500 kilogrammes de pâte vendable par jour. Une dépense aussi considérable de force, relativement à la quantité des produits, restreint l'usage de cette machine aux localités montagneuses, où se trouvent à la fois de la force à bon marché et des bois en abondance, sous la condition en outre que la proximité des papeteries rende peu onéreux les frais de transport de ces pâtes, qui doivent être expédiées avec 50 ou 60 pour 100 d'eau afin de faciliter leur délayage.

Les deux bâtis en fonte entre lesquels tourne la meule défibreuse sont consolidés et rendus solidaires par des entretoises et diverses autres pièces en fer; les quarts de cercle inférieurs qui circonscrivent la meule de chaque côté sont reliés par des cloisons en fonte représentant des V couchés, et qui constituent les parois des chambres où l'on place les bois à défibrer; la meule tournante forme le fond de ces chambres. Les morceaux de bois sont pressés contre la meule par des sabots en fonte et bois fixés au bout de tiges filetées qui s'avancent lentement au fur et à mesure du défibrage, puisqu'ils reçoivent leur mouvement de progression de la meule elle-même par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'un écrou muni d'une articulation : on voit que ces dispositions ont de l'analogie avec celle des râpes à poussoirs mécaniques pour réduire les betteraves en pulpe.

Dès que le bois contenu dans une chambre est défibré, on ouvre les deux branches de l'écrou : alors la tige filetée n'exerce plus de pression sur la meule, et l'on peut, en l'enlevant avec le sabot qu'elle porte à son extrémité, remettre d'autres morceaux de bois dans la chambre.

Au fond de chaque cloison en V est pratiquée une fente par laquelle s'échappe une lame d'eau qui mouille constamment la meule.

La pulpe obtenue ainsi, et délayée dans de l'eau, passe successivement au travers de tambours cylindriques tournants, garnis de toiles métalliques de numéros graduellement plus élevés. On parvient par l'élimination des fibres grossières à obtenir les deux nos 2 et 1 de la pâte commerciale ; les cinq tambours dont l'action se succède sont garnis de toiles nos 4, 20, 30, 200. Les vitesses sont respectivement : 1° de 30 à 36 tours; 2° 15 à 18; 3° et 4° 18 à 20; 5° 15 tours par minute.

Le tamisage s'effectue de l'extérieur à l'intérieur : chacun des tambours tour-

1. Le meilleur grès pour cette application se rencontre dans la Prusse rhénane, près de Trèves : les bois les plus convenables sont, par ordre de valeur : le tremble (*Populus tremula*), le sapin, les peupliers communs (*Populus alba*), le tilleul, le charme, le bouleau, le hêtre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nant sur deux tourillons creux dans la caisse qui contient la pâte à tamiser, la partie plus grosse est retenue à la surface extérieure du tambour, d'où de petits rouleaux pleins la font tomber dans un compartiment spécial.

La pâte plus fine qui passe au travers de la toile métallique sort continuellement par l'arbre creux du tambour et se rend dans la caisse où tourne le tambour suivant ; le tambour qui effectue le dernier tamisage ne doit laisser passer que de l'eau ; il se trouve en conséquence garni d'un tissu extrêmement serré.

Entre les tambours garnis des toiles n° 20 est disposé le *raffineur*, formé, comme dans les moulins à farine, de deux meules de la Ferté, l'une gisante, l'autre tournante ; on remonte continuellement au raffineur la pâte retenue par le deuxième tambour à toile mécanique n° 20, afin de la convertir en pâte commerciale des n°s 2 et 1. Le déchet total est d'environ 50 pour 100 à l'état brut.

§ 3. — Pâtes à papier obtenues à l'aide d'agents chimiques.

On peut obtenir d'une foule de végétaux, renfermant en suffisantes proportions la cellulose fibreuse, des pâtes à papier susceptibles d'être mélangées avec celles qui proviennent des chiffons : ce sont principalement la *paille* des céréales, le *sparte* (*Stipa tenacissima*) et le bois de diverses essences forestières qui constituent les matières premières le plus généralement employées dans ce cas.

On reproche aux pâtes mécaniques d'être composées de fibres plus courtes que celles des chiffons; les plus longues parmi ces dernières ont de 1 à 3 millimètres, mais les plus courtes varient de 0mm.02 à 0mm.8 ; elles remplissent les interstices et ce sont elles qui peuvent être remplacées par la pâte de bois du procédé Wœlter, dont on emploie seulement 20 pour 100 dans les papiers ayant une valeur de 105 à 110 francs les 100 kilog., tandis que la proportion s'élève jusqu'à 30 et 40 centièmes pour le papier de journaux, d'affiches de tenture, etc.

Les grandes opérations qui ont pour but l'extraction de la cellulose fibreuse du bois apportent, par des voies différentes, une démonstration nouvelle de la constitution organique et de la composition immédiate des fibres ligneuses.

En ce qui concerne le bois de plusieurs arbres, on parvient au but à l'aide de trois procédés distincts, chacun d'eux débarrassant par degrés la cellulose primitive des incrustations ligneuses qui, durant le cours de la végétation, avaient graduellement épaissi les parois internes de ces fibres, par couches concentriques; de telle sorte que, partant du bois normal dont la composition élémentaire présente en centièmes, suivant l'âge et les espèces, de 48.5 à 53 de carbone [1], l'oxygène et l'hydrogène dans les proportions constituant l'eau, plus un

1. Les analyses publiées par Gay-Lussac et Thénard, et plusieurs autres savants chimistes, ont montré que les bois plus ou moins légers et lourds, d'essences diverses, venus dans des conditions différentes, contiennent des proportions de carbone variables entre 0.485 et 0.530 ; or, la composition de la cellulose qui forme une partie intégrante des tissus ligneux ayant une composition constante et contenant 0.444... de carbone, si les substances incrustantes ou injectées dans les parois épaissies des fibres ligneuses contiennent dans leur ensemble 0,545 de carbone, on pourra, par un calcul simple, représenter ainsi la composition immédiate des bois graduellement plus lourds :

Bois.		Cellulose.		Substances incrustantes.		Carbone.
100	=	60	+	40	=	48.44
100	=	40	+	60	=	50.46
100	=	30	+	70	=	51.48
100	=	20	+	80	=	52.48

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

excès d'hydrogène variable de 3 à 6 millièmes, outre 6 à 11 millièmes d'azote et 2 à 6 millièmes de substances minérales, on peut arriver à recueillir la cellulose intacte, conservant les formes des fibres primitives amincies, ouvertes, en membranes plus ou moins étroites et assez longues pour réunir les conditions utiles au feutrage de la feuille de papier, surtout lorsqu'elles sont mélangées avec une quantité suffisante de pâte des chiffons [2].

Ces membranes ainsi épurées offrent constamment la composition élémentaire de la cellulose représentée par du carbone 44.44... et de l'eau 55.55... (composition indiquée par la formule $C^{12} H^{10} O^{10}$), avec toutes ses propriétés : composition élémentaire, désagrégation et transformation en dextrine, puis en glucose par l'acide sulfurique à 60 ou 62 degrés, produisant aux premiers moments de cette désagrégation le curieux phénomène de la coloration violette par l'iode.

L'un des trois procédés appliqués également avec succès à l'extraction de la cellulose fibreuse de la paille de plusieurs graminées reproduit en grand, à l'aide d'appareils nouveaux et de perfectionnements remarquables, les phases des opérations que j'avais effectuées anciennement dans le laboratoire pour extraire la cellulose des tissus de divers végétaux; il consiste à traiter plusieurs fois ces substances à chaud par de fortes solutions de soude ou de potasse, puis par le chlore. Dans les usines, la réaction est devenue plus énergique par l'élévation, en vase clos, de la température du liquide jusqu'à 120, 130, même 145 et 150 degrés. On a d'ailleurs rendu ce traitement plus économique en reconstituant la soude par la concentration des fortes lessives, chargées de matières organiques, l'incinération du résidu au four à réverbère, et la caustification, par la chaux, du carbonate alcalin.

On termine par un blanchiment à la solution d'hypochlorite de chaux [1], et d'abondants lavages avec une eau aussi pure que possible.

Un assez grand nombre d'usines préparent ainsi chaque jour en France et à l'étranger 1,000, 2,000, et jusqu'à 10,000 kilogrammes de pâte à papier (supposée à l'état sec) [2].

Dans la belle usine de Pontcharra, MM. Neyret, Orioli et Frédet, traitant à chaud, par une sorte d'eau régale étendue, des rondelles de bois de 5 millimè-

1. Quant au tissu cellulaire disloqué par ces opérations, il fournit des membranes trop courtes pour se prêter au feutrage; les granules amylacés dont j'ai découvert la présence dans les tissus du bois d'un grand nombre d'arbres et d'arbustes, parfois jusque dans les longues cavités des fibres ligneuses (notamment chez les *Tamarix*), se trouvent (dans les opérations indiquées plus loin), soit détruits par l'*eau régale*, soit transformés en glucose par l'acide chlorhydrique étendu, plus facilement encore que la cellulose spongieuse injectée de matières incrustantes. (Voir les *Bulletins de la Société impériale et centrale d'Agriculture de France*, 1862, 1863 et 1864.)

2. Une addition ménagée d'acide sulfurique ou d'acide carbonique dégageant à l'état naissant de l'acide hypochloreux ou du chlore active la décoloration, mais augmente le déchet.

3. De semblables usines sont installées chez MM. Zuber et Rieder, à l'île Napoléon; Dambricourt, à Saint-Omer; de Nœyer, à Willebroeck; Godin, à Huy en Belgique; on rencontre une vaste manufacture de ce genre sur le Schuylkill, aux environs de Philadelphie, et plusieurs autres établissements en Amérique. M. Wœlter, dans le Wurtemberg et en France, applique, comme on l'a vu, pour le *défibrage* du bois, un ingénieux appareil de son invention, dont l'effet mécanique pourrait sans doute être complété par le blanchiment au chlore ou à l'acide sulfureux. Parmi les manufacturiers qui ont apporté un utile concours à la préparation en grand des succédanés, on peut citer encore MM. Arnaud-Veissière, en France; Routledge, en Angleterre; Nagol, en Espagne, etc.; et plusieurs constructeurs de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tres d'épaisseur, parviennent à dégager la cellulose fibreuse en attaquant les substances incrustantes par la soude ou l'ammoniaque[1] dans un vase clos à double enveloppe de leur invention ; le blanchiment à l'hypochlorite de chaux, puis les lavages et l'affinage à la pile suffisent ensuite pour donner une de ces pâtes de bois, blanches et pures, que l'on range à juste titre parmi les meilleurs et les plus économiques succédanés des chiffons de chanvre, de lin, de coton et d'autres fibres textiles[2].

La fabrication des pâtes chimiques à Pontcharra s'effectue par les mêmes procédés indistinctement, sur trois sortes de matières (sauf la première opération ou division mécanique) : la paille et le sparte sont coupés au hache-paille en petits tronçons de 1 ou 2 centimètres de longueur ; le bois est écorcé puis débité à la scie circulaire en rondelles de 5 millimètres d'épaisseur ; chacune de ces matières premières ainsi préparées subit successivement trois opérations principales : 1° traitement par l'*eau régale* à froid ou à chaud ; 2° lessivages ; 3° blanchiment.

1° *Traitement par l'eau régale à froid* (bois à l'état sec, eau régale forte). — Ce mode d'opérer donne lieu à une manipulation plus facile, mais il présente plus de chances de destruction partielle de la cellulose fibreuse.

Le bain se compose de 94 acide chlorhydrique fort (à 21°), plus 6 d'acide azo-

machines : MM. Decker, à Camstalt ; Varral, Elwer, Poulot, à Paris ; May-Escher, à Lusdorf (Autriche). [Voir le troisième Congrès des Fabricants de papier de France, 12 mai 1866, et le Catalogue des produits du Wurtemberg à l'Exposition universelle.]

1. Celle-ci, recueillie par condensation dans un ingénieux appareil, peut, sauf une déperdition légère, servir indéfiniment.

2. On ne saurait s'étonner que le bois fournisse, en général, une cellulose plus pure que la paille, si l'on considère que celle-ci contient dix fois plus de substances minérales, renfermant des proportions notables de fer. Aussi, peut-on souvent reconnaître, à l'aide du *prussiate* de potasse, la présence de l'oxyde de fer dans les pâtes, même blanchies et lavées, de la paille, tandis que les produits obtenus du bois dans de semblables conditions n'en renferment pas de traces sensibles aux mêmes réactifs.

Depuis quelques temps, MM. Gagnage et Gignon, avec la coopération de M. Poinsot (chez M. Breton, à Pont-de-Claye), étaient parvenus à extraire du *Zostera marina* (improprement désigné sous le nom de *Varech* ou *Fucus*) de la cellulose fibreuse qui entre dans la confection du papier de pliage, et même du papier blanc, mais le prix graduellement plus élevé de la matière première employée dans la literie a tari cette source de la pâte à papier. La préparation, facile, consistait en un traitement par la soude, d'abondants lavages, puis le blanchiment ordinaire par l'hypochlorite de chaux dans une pile affineuse. Le produit ainsi obtenu n'offrait plus que des traces d'oxyde de fer.

Ces fibrilles, dans la plante, sont agglutinées par des composés pectiques, de telle sorte qu'en réagissant à la température de 15 à 20 degrés, durant dix à quinze jours, l'acide chlorhydrique étendu de neuf à dix volumes d'eau dégage ou transforme en acide pectique ces composés ; que si alors, après des lavages abondants, on ajoute de l'ammoniaque en léger excès, la substance agglutinante passant à l'état de pectate d'ammoniaque dissous, ces fibres se désunissent par l'agitation, et, si le liquide n'est pas en trop grande quantité, l'addition d'un équivalent ou d'un excès de chlorure de calcium produit aussitôt un magma de pectate de chaux qui réunit en une masse consistante toute la matière organique.

Déjà depuis longtemps j'avais démontré que les cellules du tissu utriculaire de la pomme de terre, des racines charnues de la betterave et d'un grand nombre de tubercules et de racines semblables sont de même agglutinées et manifestent de semblables phénomènes de dislocation sous l'influence des mêmes réactions successives, tandis que je n'ai pas rencontré de substances pectiques dans le bois de cœur ni dans l'aubier des arbres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tique ; l'immersion des rondelles, durant 6 à 12 heures, se fait dans des vases cylindriques en grès, d'une contenance de 900 litres (fabriqués à la Chapelle-aux-Pots, près Beauvais). Le bois absorbe environ 0.5 de son poids du liquide acide ; le surplus de cet acide, complété par un bain vierge, sert à une opération suivante : une partie des matières colorantes ou résineuses se transforme en acide picrique ; la matière incrustante est dissoute ou devenue soluble ; la *cellulose fibreuse* n'est pas sensiblement attaquée, du moins lorsqu'on opère dans les meilleures conditions réalisables au point de vue manufacturier.

2° *Traitement à chaud par l'eau régale étendue.* — Ce traitement permet de mieux ménager les fibres résistantes et attaque plus régulièrement les substances étrangères : pour 100 de bois, l'eau régale, composée de 6 d'acide chlorhydrique et 4 d'acide azotique, est étendue d'un volume d'eau suffisant pour que les rondelles de bois se trouvent complétement immergées (ce qui représente 25 d'eau pure pour 1 d'eau régale). L'opération a lieu dans une grande cuve en bois, munie d'un fond en granit avec joints en caoutchouc vulcanisé ; on fait barboter pendant douze heures de la vapeur d'eau au fond de la cuve, à l'aide d'un conduit en bois, muni à sa partie supérieure d'un petit appareil de sûreté s'opposant à l'absorption du liquide acide dans le générateur. Après le traitement à chaud ou à froid par l'eau régale, ces rondelles sont lavées à l'eau ordinaire renouvelée dans la même cuve, égouttées, puis extraites et réduites, sous des meules verticales en granit, à l'état d'une pulpe brune ; celle-ci est soumise à de nouveaux lavages, et ce qui peut rester d'acide interposé est saturé à l'aide d'une petite quantité de lait de chaux.

§ 4. — Lessivage.

Cette opération a lieu sur 1500 kilogrammes de bois, de paille ou de sparte dans la chaudière cylindrique à double enveloppe, de l'invention de MM. Neyret, Orioli et Frédet (voir aussi les brevets de MM. Bécoulet en 1846 et Ludet en 1853) ; on y emploie soit 3,000 litres d'ammoniaque du commerce[1], soit, par 100 kilogrammes de bois sec, l'équivalent de sel de soude à 75°, dissous dans 6 fois son poids d'eau et rendu caustique par 7.5 de chaux préalablement éteinte (donnant ainsi une solution que l'on soutire à clair).

Si le lessivage est, comme nous l'avons fait remarquer plus haut, d'une grande importance relativement aux chiffons, à plus forte raison doit-il être très-énergique lorsqu'on l'applique aux substances brutes qu'il faut débarrasser de toutes les matières incrustantes, grasses, colorantes, etc.[2].

§ 5. — Blanchiment.

Lorsque le lessivage a fait dissoudre les matières grasses azotées et incrustantes, rendu plus attaquables les substances colorables en augmentant ou produisant leur coloration brune, on doit détruire, par une sorte de combustion

1. L'addition à cette quantité de 25 à 30 kilogrammes de soude caustique est utile afin de maintenir la causticité de l'ammoniaque et de concourir aux réactions.

2. Des lessivages énergiques sont également nécessaires pour débarrasser, partiellement du moins, les fibres textiles du chanvre, du lin et d'autres analogues, ou les toiles écrues, d'une matière encore indéterminée que les fabricants appellent *grasse*, qui donne de la transparence au papier : ce pourrait être de la cellulose plus faiblement agrégée ; en effet, le coton qui ne contient pas la cellulose à cet état, et dont les fibres tubulaires ont de plus minces parois, donne des papiers plus opaques mais moins résistants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

humide, à l'aide de l'hypochlorite de chaux, les substances étrangères, afin d'en débarrasser la cellulose fibreuse, qui, dès lors, se trouve blanchie, mais parfois particllement *brûlée* elle-même.

Un blanchiment ordinaire de ces succédanés exige en moyenne 50 de chlorure de chaux à 100° chlorométriques pour 100 de pâte, et occasionne un déchet total de 6 p. 100, mais qui peut s'élever à 10 et même au delà sur la paille comme sur le bois.

Le procédé de fabrication de la pâte de paille, chez M. Bergès et MM. Zuber et Rieder, offre plusieurs particularités très-dignes d'intérêt : la paille est d'abord coupée au *hache-paille* (parfois avec une ventilation qui sépare les nœuds), mouillée, puis écrasée au laminoir; elle subit alors dans l'appareil rotatif, pendant dix à douze heures, un lessivage par une solution de 25 à 30 de sel de soude à 85° ou 90° alcalimétriques, dans 200 d'eau pour 100 de paille hachée ; on soutire la lessive, à laquelle s'ajoute le liquide obtenu par une forte pression au laminoir. L'ensemble de ces solutions alcalines, concentrées par la flamme d'un four à réverbère dans lequel l'évaporation s'achève et la calcination s'effectue, donne un salin brut qui, dissous, puis traité par son équivalent de chaux, reproduit ou revivifie la lessive caustique primitivement employée, en économisant de cette manière la plus grande partie de la soude.

Quant à la paille lessivée, puis exprimée, elle est immergée dans l'eau chaude, puis lavée à froid en même temps que désagrégée en fibrilles dans une pile défileuse. Le blanchiment à l'hypochlorite de chaux s'effectue dans la même pile, ainsi que l'affinage et le dernier lavage. On peut obtenir un affinage plus complet, ne laissant presque aucun débris de nœuds ou d'épiderme, en se servant de la machine appelée *pulp-engine;* le prix de revient par ce procédé est d'environ 55 francs pour la pâte mi-fine, et 60 à 65 francs pour la pâte complétement blanche.

La fabrication de la pâte de paille, dans la belle papeterie de M. Dambricourt, à Saint-Omer, a coûté d'installation environ 150,000 francs, pour obtenir, en 300 jours, 300,000 kilogrammes de pâte à papier, dont on a calculé ainsi le prix de revient pour 100 kilogrammes :

Paille sèche.....	250k à 5 fr. 0/0.....	12f 50	
Sel de soude.....	65k à 30 fr. 0/0.....	19 50	
Chaux.....	30	1 00	
Houille.....	320k (= 4 hectolitres).....	9 00	60 fr.
Chlorure de chaux.....	20k à 30 fr.....	6 00	
Main-d'œuvre.....		5 00	
Intérêts et frais généraux.....		7 00	
A déduire la portion de soude revivifiée.....			4 fr.
150 kil. de pâte coûtent.....			56 fr.

§ 6. — Fabrication d'alcool et de pâte à papier avec le bois.

Parmi les procédés de nature à résoudre l'important problème des succédanés il en est un sur lequel je crois devoir plus particulièrement insister, au point de vue scientifique, parce qu'il jette une vive lumière sur la constitution des fibres ligneuses et le mode d'agrégation des matières incrustantes dans l'intérieur de ces fibres.

Les inventeurs de ce procédé, MM. Bachet et Machard, se sont proposé d'atteindre un double but en transformant en glucose une partie de la substance incrustante des fibres ligneuses, et ménageant la cellulose susceptible de se feu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trer sur la toile des machines à papier. Ils ont reconnu que la portion facilement saccharifiable fait partie de la substance incrustante, car le bois de cœur et les bois durs, riches en incrustations organiques, toutes choses égales d'ailleurs, leur ont donné le plus de glucose et, par suite, les plus fortes proportions d'alcool.

M. Bachet m'ayant communiqué, en 1860, ce procédé, il fut vérifié en sa présence dans mon laboratoire, au mois d'avril 1861, avec le concours de M. Billequin.

Trois expériences dans lesquelles on employa une fois 400 grammes et deux fois 500 grammes de bois de sapin découpé en rondelles de 1 centimètre d'épaisseur, traités dans chaque essai par 200 centimètres cubes d'acide chlorhydrique, maintenus en ébullition durant dix heures, donnèrent en moyenne 21.13 de glucose (dosée par la solution de tartrate cupro-potassique) pour 100 de bois ramené à l'état sec.

L'inspection sous le microscope montrait alors, dans le résidu ligneux la cellulose résistante avec ses formes membraneuses, tandis que la cellulose spongieuse constituant la trame de la matière incrustante avait été dissoute. La proportion de la matière incrustante elle-même se trouvait d'autant augmentée dans la masse ligneuse restante, ainsi que les proportions de carbone ; enfin les substances incrustantes débarrassées de la cellulose spongieuse, étaient, par cela même, devenues plus facilement attaquables et solubles dans les solutions alcalines [1] : tels furent, en effet, les résultats obtenus et qui ont permis d'extraire en grand la cellulose fibreuse du bois de différentes espèces d'arbres.

1. Les analyses élémentaires que nous avons faites récemment avec MM. Champion et Henry Pellet ont effectivement démontré que, après le traitement à chaud par l'acide chlorhydrique et les lavages à l'eau, le bois de sapin contenait à poids égal plus de carbone et d'excès d'hydrogène, ce qui évidemment correspondait à une proportion plus forte de matières incrustantes ou à une quantité relativement moindre de cellulose. Voici les résultats moyens de deux ou trois de ces analyses. Afin de rendre les conditions égales autant que possible, les deux spécimens, préalablement réduits à la lime en poudre fine et tamisée, avaient en outre été soumis à des lavages par l'alcool, puis à l'eau froide et bouillante, qui avaient enlevé :

	Substances solubles dans l'alcool.	Dans l'eau.
Pour 100 de bois normal desséché. .	» 1.5	0.66
Pour 100 de bois traité par l'acide HCl à 1/10 et l'eau, puis desséché.	» 1.66	1.00

On avait donc ainsi éliminé l'influence des substances résineuses, sucrées, etc. ; alors l'analyse élémentaire donna :

	Pour le sapin blanc à l'état normal.	Même bois après dissolution partielle de la cellulose spongieuse des incrustations, par HCl.
Carbone.	48.88	51.13
Hydrogène.	6.74	6.16
Oxygène et traces de cendres. .	44.38	42.71
	100.00	100.00
Excès de l'hydrogène sur les proportions constituant l'eau.	0.29	0.82

On peut reconnaître ainsi qu'après la réaction de l'acide chlorhydrique qui a dissous et saccharifié la trame en cellulose des incrustations ligneuses, les proportions de carbone et d'hydrogène en excès se trouvent accrues en raison même des différences de composition entre la substance incrustante, qui contient 0.515 de carbone, et la cellulose qui en ren-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces faits, reproduits manufacturièrement à l'aide de moyens nouveaux, se trouvent en parfaite concordance avec les déductions organographiques présentées par M. Brongniart, à la suite de recherches auxquelles nous nous étions livrés ensemble. Par l'examen au microscope, en soumettant à divers réactifs des tranches très-minces, soit transversales, soit longitudinales, de bois, tant dans leur état naturel qu'après les avoir dépouillées des matières autres que la cellulose, nous avons fait voir que l'épaississement intérieur de chaque utricule est composé en même temps de cellulose et de nouvelles substances ligneuses qui sont mêlées avec elle, de sorte qu'après avoir dissous et enlevé ces substances, les parois des utricules ligneuses ne sont pas réduites à une membrane extérieure mince, mais présentent au contraire une couche intérieure gonflée et comme spongieuse de cellulose, bien distincte par cet aspect de la zone externe, plus solide et très-bien limitée, qui correspond à la membrane primitive de ces utricules [1]. C'est précisément cette membrane de cellulose que l'on parvient aujourd'hui à extraire pure par plusieurs procédés industriels.

Déjà Pelouze, en 1839, après avoir fait connaître une modification isomérique de la cellulose, constatait que l'eau acidulée par les acides chlorhydrique, sulfurique, etc., agit sur la cellulose normale plus ou moins pure, et, à l'aide d'une ébullition prolongée, la transforme en glucose. (*Comptes rendus*, t. XLVIII, p. 327.) Mais ce qui caractérise nettement le procédé de MM. Bachet et Machard, c'est que, tout en saccharifiant une partie des incrustations, ils ménagent, autant qu'ils le peuvent, la cellulose constituant les membranes primitives et parviennent à l'extraire, soit légèrement brunie par des matières colorantes étrangères, soit blanche et pure, propre à la fabrication de différentes sortes de papier.

Voici comment s'effectuait la saccharification de la cellulose spongieuse et l'épuration de la cellulose résistante dans plusieurs usines (distillerie de Saint-Tripon, papeterie de Bex, en Suisse, et papeterie de Vizille, Isère).

Une grande cuve, contenant 8,000 litres d'eau et 800 kilogrammes d'acide chlorhydrique ordinaire, recevait 2,000 kilogrammes de rondelles de sapin; un courant de vapeur portait le liquide à l'ébullition que l'on soutenait pendant douze heures; la solution acide soutirée, puis saturée aux 99 centièmes par le carbonate de chaux, le chlorure de calcium formé ne s'opposait pas à la fermentation alcoolique, excitée d'ailleurs à la température de 22 à 25 degrés par une addition de levûre. On obtenait à la distillation une quantité d'alcool en rapport avec la glucose produite.

Le résidu ligneux était soumis au lavage méthodique, à un écrasage sous une

ferme seulement 0.444. De même, après les traitements précités, le bois soumis comparativement à l'action de la potasse laissa dissoudre 0.4866 de matière incrustante, tandis qu'à l'état normal (épuré de même par l'alcool et l'eau) il ne perdit par l'action de la potasse que 0.42 de substance incrustante.

1. Voir le rapport de M. Ad. Brogniart, *Comptes rendus*, séance du 22 mars 1840. On se rendra facilement compte de ces dispositions anatomiques, si on les compare à la structure remarquable des noyaux des fruits de Celtis : j'ai constaté que dans ces noyaux n'existent pas les incrustations ligneuses qui donnent une si grande dureté aux noyaux des fruits dits *à noyau*, jusqu'alors examinées ; elles sont remplacées par des concrétions de carbonate de chaux et de magnésie qui leur procurent une dureté plus grande encore, de telle sorte qu'à l'état normal les fruits de Celtis ébrèchent le tranchant des lames en acier, tandis qu'après l'action d'un acide étendu qui dissout avec effervescence les carbonates minéraux, la trame de cellulose hydratée se montre souple, tout en conservant les formes primitives des noyaux ; elle peut être entamée et découpée au rasoir sans la moindre difficulté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

meule en grès et au défilage avec lavage à la pile; un lévigateur débarrasse de quelques agglomérations la pâte que l'on fait égoutter et presser; on obtient ainsi une pâte brune convenable pour fabriquer le papier d'emballage.

On prépare un papier de pliage plus fin et de teinte moins foncée, en soumettant la pâte à un laminage sous le presse-pâte usuel; le *carton* ainsi obtenu, de 3 à 4 millimètres d'épaisseur, retient 0.6 d'eau; contourné sur un mandrin, il forme des rouleaux en spirale, qui, placés debout dans la caisse à chlore gazeux de trente-six à quarante-huit heures, absorbent 6 ou 7 mètres cubes de gaz par 100 kilogrammes de pâte supposée sèche : on obtient ainsi une pâte rougeâtre, qui, lavée, puis affinée, peut servir directement à la fabrication d'un beau papier de pliage.

Si l'on veut obtenir un produit blanc, il faut soumettre cette substance, après le traitement au chlore gazeux, à trois macérations dans l'eau de chaux, puis à un traitement par 10 kilogrammes de carbonate de soude pour 100 kilogrammes de pâte calculée sèche, à la température de 80° à 90° centigrades, et lavages complets dans une cuve filtrante doublée intérieurement de toile métallique. On achève le blanchiment, en même temps que la division mécanique, à l'aide de l'hypochlorite de chaux agissant dans une pile affineuse.

Un stère de bois donne de 100 à 120 kilogrammes de cellulose fibreuse légèrement teinte en brun roux; le dernier blanchiment par l'hypochlorite de chaux, seul ou légèrement acidulé, occasionne une déperdition de 30 p. 100 qui peut s'élever à 50 centièmes et au delà.

La cause principale des déperditions variables qui se manifestent pendant le traitement chimique du bois et de la paille, en vue d'en extraire la cellulose fibreuse et blanche, tient à la réaction du chlore ou de l'acide hypochloreux, réaction qu'il est très-difficile de limiter aux matières colorantes et autres substances étrangères; en effet, lorsque les doses des réactifs colorants sont trop fortes ou que la température s'élève, la cellulose elle-même est attaquée et éprouve une véritable combustion au sein du liquide; elle subit dans ce cas une transformation partielle ou totale en eau plus acide carbonique.

On peut amoindrir ces déperditions en ménageant les doses du chlore et prévenant l'élévation de la température, sauf à prolonger la durée du contact.

En réunissant toutes les conditions de succès et d'économie dans des opérations manufacturières expérimentales, on a pu obtenir les résultats suivants, constatés par une commission dans l'usine de Bex, en Suisse :

Compte de fabrication de la pâte brune.

Un stère de bois [1]		6f »
Façon des rondelles		1 31
Acide chlorhydrique, 45 kil. à 6 fr. les 100 kil.		2 70
Houille et main-d'œuvre		2 90
Écrasage sous les meules		2 20
Défilage		1 30
Total		16f 41
A déduire sciures et écorces	0 80	8 67
Alcool	7 87	
100 kil. pâte brune coûtent		7f 74

1. Un stère de sapin blanc = (Expérience de Bex.)

rondelles	438 kil.
sciure	33
écorce	36
déchet	18
	525 kil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Prix de revient de la pâte blanchie.

100 kil. de pâte brune (sèche) défilée	71 74
120 kil. acide chlorhydrique à 6 fr. = 7 fr. 20, plus 40 kil. manganèse à 10 fr. = 4 fr.	11 20
2 kil. chaux = 0f.06, plus 10 kil. carbonate de soude = 3f 06.	3 06
30 kil. chlorure de chaux (à 100°) à 30 fr. 0/0 kil.	9 »
Chauffage et main-d'œuvre	3 54
Chlorure de chaux et acide (dernier blanchiment)	1 »
100 kil. pâte, moins 30 kil. déchet = 70 kil.	35f 54
d'où 100 kil. coûtent	50 80

En général, on reconnaît que les différents succédanés, épurés chimiquement, donnent des pâtes coûtant moins que les pâtes obtenues actuellement des chiffons.

§ 7. — État actuel de la question des succédanés.

Nous venons de démontrer clairement que sous la forme fibreuse la cellulose peut être extraite blanche et pure de divers végétaux, à l'aide de procédés qui se rapprochent de ceux dont on fait usage pour le traitement des fibres textiles contenues dans les chiffons, les cordages et les étoupes.

Les principales différences consistent en ce que les proportions considérables de substances organiques étrangères à la cellulose exigent l'emploi de quantités beaucoup plus fortes d'agents chimiques, pour épurer les matières premières des succédanés : de la paille et du bois notamment. On parvient, dans les laboratoires, à si bien ménager les réactions des lessives, du chlore et des hypochlorites, que l'extraction et le blanchiment de la cellulose fibreuse s'y peuvent effectuer sans déperditions exagérées.

En comparant les résultats obtenus ainsi avec ceux qu'ont annoncés quelques fabricants et inventeurs, à l'occasion de l'Exposition universelle, on fut conduit à admettre que la question des succédanés était économiquement résolue. A cet égard, malheureusement, les faits constatés depuis l'année 1867 prouvent que, malgré d'énergiques efforts dans un grand nombre de papeteries, le prix de revient des pâtes de succédanés laisse encore beaucoup à désirer ; cela tient à diverses causes inhérentes soit aux conditions industrielles ou commerciales où se trouve la France en particulier, soit à la difficulté, à l'impossibilité même, d'obtenir, en grand et avec économie, des résultats semblables à ceux qui se réalisent dans les laboratoires où l'on ne tient compte ni des frais de main-d'œuvre ni des dépenses de combustible.

Relativement au premier point, on sait que pour l'une des matières premières sur lesquelles se sont fondées le plus d'espérances, les pailles des céréales, seigle et blés, notre pays se trouve dans des conditions défavorables : les matières premières y sont à un prix plus élevé qu'en Amérique, et le combustible y est trois fois, au moins, plus cher qu'en Belgique. En effet, la houille coûte chez nous, suivant les localités, 2 fr. 40 à 3 fr. le quintal, tandis qu'au delà de notre frontière du Nord, l'un des principaux fabricants de cette sorte de pâte de succédané, ne paye la houille que 0f.80 les 100 kilos.

Or il est généralement reconnu, comme nous l'avons dit, que la dépense considérable de la soude nécessaire pour traiter les pailles ne peut être suffisamment atténuée que sous la condition de revivifier l'alcali, c'est-à-dire de concentrer les lessives brunes, d'incinérer le résidu de l'évaporation, de lessiver les cendres et de traiter les solutions par la chaux : toutes ces opérations exi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gent des masses de combustible d'autant plus considérables qu'elles s'appliquent à éliminer de la paille environ les deux tiers de son poids de substances étrangères à la partie fibreuse feutrable, tandis qu'elles enlèvent seulement quelques centièmes du poids des chiffons.

Aussi la pâte bien blanchie des succédanés qu'on livre aux fabricants de papier leur revient-elle à 60 fr. environ, c'est-à-dire au même prix à peu près que la pâte de chiffons qu'ils préparent eux-mêmes.

Un des procédés chimiques qui présente le plus d'intérêt scientifique et semblait offrir, d'après des essais de laboratoire et le rapport d'une commission industrielle, les chances d'une fabrication très-économique, s'appliquait à la préparation de la pâte de bois en utilisant une partie de la cellulose spongieuse par la saccharification et la production de l'alcool; mais ce procédé ingénieux, si intéressant au point de vue scientifique, n'a pu résister à l'expérience toujours redoutable de la mise en pratique de ses moyens d'action. Ici la cause principale de l'insuccès de l'opération manufacturière paraît avoir tenu surtout à la difficulté de ménager assez, dans le blanchiment par le chlore, la membrane primitive de cellulose très-mince de la fibre ligneuse, tout en attaquant au point convenable la substance brune développée sous l'influence de la lessive caustique; en un mot, de blanchir cette membrane sans en détruire une grande partie.

Est-ce à dire qu'on doive abandonner l'espoir d'améliorer les procédés chimiques de préparation des pâtes à papier avec le bois? Non, sans doute, car la plupart des procédés d'extraction de divers principes immédiats des plantes, après avoir longtemps échoué, au point de vue économique, se sont relevés enfin, et leur succès définitif est devenu incontestable. On sait, par exemple, que durant de longues années les sucreries indigènes ne réalisaient aucun bénéfice, alors cependant que le sucre se vendait en France 12 fr. le kilogramme, tandis que maintenant, sauf dans certaines années de mauvaises récoltes exceptionnelles, les habiles manufacturiers qui se livrent à cette industrie se trouvent largement indemnisés de tous leurs frais, quoiqu'ils vendent le sucre huit à dix fois moins cher qu'autrefois.

Mais quoi qu'il advienne des essais persévérants sur la préparation des succédanés, les fabricants de papier, en France, s'il ne leur arrive aucune compensation, se trouveront dans des conditions plus défavorables que les fabricants à l'étranger.

En Angleterre, la consommation intérieure plus considérable des tissus de coton et le commerce extérieur plus important alimentent plus largement les papeteries de matière première.

En Amérique, l'abondance de la paille de blé contribue au développement des fabriques de succédanés.

Enfin, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, le bas prix de la houille, en Belgique, met nos fabricants hors d'état de lutter pour les pâtes provenant de la paille, avec les manufacturiers belges.

Sans doute la consommation des pâtes de succédanés ne manquera pas chez nous, surtout dans leur application aux impressions des œuvres peu durables telles que les journaux, car non-seulement on est parvenu à introduire jusqu'à 80 de succédanés pour 100 de pâte de chiffons, dans certains papiers, mais encore plusieurs journaux ont pu être imprimés sur du papier fabriqué avec de la paille exclusivement.

Mais, en supposant l'emploi en proportions de 10 à 20 ou 25 pour 100 de ces pâtes dans la confection des papiers de bonne qualité usuelle, pour remplir les interstices que laissent entre elles les fibres textiles, le développement de la consommation du papier, à mesure que l'instruction générale se développe,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laissera bien longtemps encore un déficit notable dans l'approvisionnement des chiffons, de ces débris de substances textiles qui, par leur longueur variable à volonté et leur résistance, constituent toujours la base principale et la meilleure matière première de la fabrication du papier.

§ 8. — Conclusions.

1° On voit que l'industrie nouvelle des succédanés du chiffon et des différentes fibres textiles présente à divers titres un grand intérêt. Elle permettra, sans doute, de subvenir aux développements progressifs de la consommation du papier, consommation qui, elle-même, suit l'impulsion heureuse donnée à l'instruction générale [1];

2° Au point de vue scientifique, elle vient démontrer, par une production annuelle déjà considérable, représentant près du dixième de la production totale de la matière première du papier, que la cellulose extraite pure de différentes origines et même des fibres ligneuses plus ou moins incrustées, est chimiquement identique;

3° Que la cellulose spongieuse moins agrégée, formant la trame des incrustations ligneuses, peut être enlevée aux utricules primitives par les acides, qui la transforment en glucose susceptible d'éprouver la fermentation alcoolique;

4° Que la cellulose fibreuse obtenue du corps ligneux des arbres est, en général, exempte de composés ferrugineux, et contient moins de substances minérales que les fibrilles extraites des autres succédanés;

5° Qu'ainsi l'on parvient à obtenir du bois de diverses essences forestières (expérimentalement du moins) un double produit : de l'alcool et des membranes de cellulose assez résistantes, flexibles et pures, pour entrer jusque dans les proportions de 50 à 80 centièmes dans la composition de certains papiers d'impression;

6° Au point de vue agricole, cette démonstration expérimentale n'offre pas moins d'intérêt, car elle indique un nouveau débouché pour les produits des plantations de conifères qui, de leur côté, peuvent préparer l'assainissement et la mise en valeur de landes incultes occupant encore d'immenses surfaces dans notre pays [2].

A. PAYEN (*de l'Institut*).

1. Vingt-deux manufacturiers des diverses régions de la France et des pays étrangers (notamment des États-Unis, de l'Autriche, de la Belgique, du Wurtemberg, de la Prusse et de l'Italie) ont présenté à l'Exposition internationale des fibres extraites du bois, de la paille ou du sparte, propres à la fabrication du papier.

2. En signalant autrefois, par des expériences nombreuses et des observations au microscope, les différents états de la cellulose, montrant qu'elle constitue les utricules primitives des fibres ligneuses et la trame des substances incrustantes complexes qui épaississent par degrés les parois internes de ces fibres, je ne pouvais espérer lever immédiatement certains doutes qui ont effectivement persisté chez quelques personnes.

Mais aujourd'hui qu'à l'aide de ces données de laboratoire réalisées industriellement, et manifestées au grand jour de l'Exposition universelle, on démontre sans peine qu'il est facile d'extraire des fibres ligneuses une partie de la cellulose fibreuse intacte, conservant sa structure primitive et entrant chaque jour, en raison même de ses formes originelles, dans la fabrication du papier, le doute sur ce fait scientifique ne semble plus permis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

APPAREILS

SERVANT A LA FABRICATION DU PAPIER.

(Planches 170, 221, 222, 223, 241.)

MM. Bryan Donkin, constructeurs mécaniciens à Londres, ont exposé une machine à couper le chiffon qui présente une très-grande solidité. Le chiffon est appelé par une toile sans fin entre deux cylindres alimentaires qui le délivrent à un couteau vertical animé d'un mouvement de montée et de descente et qui présente une disposition particulière. Ce couteau se compose d'une lame transversale parallèle à l'axe des cylindres alimentaires, et de deux lames qui coupent le chiffon dans le sens perpendiculaire au précédent. La descente des trois lames (qui forment, pour ainsi dire, un seul bloc) s'opère sur une table en fonte garnie d'une plaque en acier, et le travail se fait à peu près de la même manière que celui des rogneuses de papier en rames. Cependant, la plaque d'acier doit s'user très-vite, et il nous semblerait plus économique de garnir cette plaque de quatre règles en acier arasées au niveau de la table, dans laquelle elles seraient assemblées à queue d'hironde; ces quatre règles correspondraient aux quatre lames du couteau et pourraient facilement se remplacer. Cette coupeuse de chiffons est extrêmement robuste, et, d'après le dire d'un fabricant qui s'en sert, rend de bons services; elle peut couper de 5,000 à 6,000 kil. de chiffons ou de cordages par jour de 12 heures; les couteaux tranchent nettement les chiffons ou cordages sans produire de déchet et sans choc.

MM. Varrall, Elwell et Poulot, constructeurs mécaniciens à Paris, ont exposé un spécimen très-remarquable, au point de vue de l'exécution, d'une pile raffineuse (pl. 170). Les extrémités de la pile sont elliptiques, disposition d'ailleurs connue déjà comme préférable à la forme circulaire et imaginée par MM. Callon et fils, ingénieurs civils. Le mouvement de relevage parallèle du cylindre, dû aux mêmes ingénieurs, consiste en deux vis sans fin V montées sur le même arbre transversal, et actionnant deux roues hélicoïdales qui forment écrous pour deux vis assemblées aux extrémités des deux leviers *l* qui portent les paliers *v* de l'arbre du cylindre. La plupart des piles à papier sont munies de ce mécanisme, qui n'a pas été modifié depuis sa création, et l'on ne rencontre plus que dans quelques usines arriérées les piles dans lesquelles le relevage du cylindre se fait d'un seul côté.

La pile de MM. Varrall, Elwell et Poulot présente de nombreuses dispositions fort recommandables. Les paliers du cylindre sont à graissage continu; le mécanisme de relevage et de descente du tambour laveur est très-simple et diffère de celui indiqué sur la planche 170; les montants consistent en deux crémaillères sur lesquelles roulent deux pignons droits montés sur l'axe qui supporte les paliers de l'arbre du tambour laveur. Un encliquetage maintient ce mécanisme en place. Quand la pile doit travailler comme défileuse, son fond est muni de sabliers très-larges et d'un *effet d'eau* qui opère le lavage par le fond de la pile,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en aidant ainsi au mouvement des chiffons. Le cylindre est en fonte et évidé ; il est garni de lames disposées par paquets de trois.

Pour fixer la toile métallique sur les croisillons du tambour laveur, ces constructeurs emploient simplement deux lanières de caoutchouc, dont la tension suffit parfaitement pour cet objet ; c'est une amélioration de détail qui mérite d'être mentionnée.

M. Alex. Verny, fabricant de papiers à Aubenas (Ardèche), a exposé un *mouvement de relevage parallèle* de son invention et appliqué par lui depuis plusieurs années aux cylindres des piles à papier. Il est représenté par les figures 5, 6 et 7 de la planche 170.

La fig. 5 représente une vue latérale extérieure de la pile et du mécanisme en question. 1, 2, 3, 4 représentent le contour extérieur de la pile, sur chaque côté de laquelle est fixée par quatre vis une pièce de support Q, en fonte ; l'emploi des vis au lieu de boulons est motivé par la nécessité de ne pas établir à l'intérieur de la pile des *têtes saillantes* dont la présence pourrait arrêter le mouvement des chiffons. Toutefois, comme un taraudage dans la fonte est, en principe, une disposition défectueuse quand il est appliqué à des pièces que l'on doit pouvoir démonter facilement, nous préférons, à l'emploi des vis, celui de boulons à tête fraisée et noyée dans l'épaisseur de la paroi de la pile.

Les pièces de support Q reçoivent un goujon ou prisonnier en fer *d*, que l'on ajuste dans les douilles de ces supports après avoir chauffé ceux-ci à une température voisine du rouge sombre. Le serrage que produit sur le goujon le retrait de la fonte, par suite du refroidissement, est tellement énergique, que ce goujon fait, pour ainsi dire, *corps* avec le support. (Voir la fig. 6.)

Les goujons *d* servent d'axes d'oscillation aux deux leviers en fonte B, sur lesquels sont fixés les deux paliers de l'arbre du cylindre. Ces deux leviers sont terminés par une branche courbe B qui passe dans la lumière rectangulaire d'un levier A terminé par une longue *manette*. Il y a deux leviers A comme il y a deux leviers B. La fig. 7 est une coupe verticale de l'un des leviers A par un plan parallèle à l'axe du cylindre. Cette figure montre que les parties courbes B' des leviers B reposent sur deux galets *a* logés dans les lumières des leviers A. Chaque galet tourne *fou* sur son axe.

Les deux leviers A sont calés sur un arbre transversal O (voir la fig. 5) qui passe sous la pile, et qui peut osciller dans deux pièces de support P fixées contre la pile. Comme le centre de l'arbre O et ceux des arcs de cercle qui forment les branches courbes B' des leviers B ne se confondent pas, il en résulte qu'en couchant plus ou moins sur l'horizontale les leviers A, on obtient le *relevage parallèle* du cylindre. La manœuvre des leviers A s'effectue à la main, et cette manœuvre est aidée par deux lentilles en fonte qui sont enfilées sur les manettes de ces leviers. On fixe les leviers A de position à l'aide de deux coins qui les arrêtent contre les branches courbes B' des leviers B.

Cette disposition nouvelle du relevage parallèle offre l'avantage d'une manœuvre très-prompte ; elle est plus simple et moins coûteuse, par conséquent, que la disposition généralement adoptée dans le même but.

L'enveloppe même de la pile exposée par M. Verny n'offre rien de particulier, si ce n'est le peu d'habileté dont le fondeur a fait preuve.

Nous avons trouvé à l'Exposition des États-Unis une platine de pile d'une construction que nous croyons encore inconnue en Europe. Les lames en acier fondu, d'environ 0.002 $^{m}/_{m}$ d'épaisseur, sont ajustées dans un bloc de fonte et supportées au tiers de la hauteur par des boulons servant en même temps à les fixer solidement dans le bloc. Lorsque les lames sont usées jusqu'à la surface du bloc, on desserre les boulons, et, à l'aide d'une pièce de fer assez mince

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chassée sous ces boulons, on fait remonter toutes les lames ensemble jusqu'à la hauteur voulue, de sorte qu'on peut les employer jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'environ 0m.03.

Les lames sont renouvelées après l'extraction des pièces chassées sous les boulons. La platine forme un angle très-obtus et sa surface est légèrement cintrée. Ce système de platine, n'exigeant pas de retaillage et permettant d'user les lames jusqu'au bout, nous paraît très-économique; il est représenté sur la figure 8 de la planche 170.

MM. Meyer et Cie, de Kaisersberg (Haut-Rhin), ont exposé divers modèles de platines de cylindre, dans lesquels les lames en acier sont incrustées dans un bloc de zinc. Cette disposition, très-simple, présente beaucoup de rigidité et de durée; elle permet un retaillage très-facile; à mesure que les lames s'usent, on burine le bloc de zinc sur une hauteur égale à l'usure des lames.

Les lames ordinaires des cylindres et des platines se retaillent à la main ou mécaniquement; le second procédé est le plus expéditif et le meilleur en même temps. Quand on l'emploie, il est inutile de démonter le cylindre.

MM. Bryan Donkin et Cie, de Londres, ont exposé une machine à tailler sur place les lames de cylindres; c'est une petite machine à raboter qui nous a paru beaucoup trop lourde pour être facilement portative.

Machine à fabriquer la pâte de bois, exposée par M. Vœlter.

Ce procédé a été démontré journellement à l'Exposition par la machine que l'inventeur a placée dans la section du Wurtemberg. Cette machine est intéressante à un double point de vue : d'abord, parce qu'elle renferme des dispositions complétement différentes de celles qu'on rencontre dans la fabrication de la pâte de chiffons; ensuite, parce qu'elle rend évidente la possibilité d'utiliser facilement et sur une vaste échelle l'un des meilleurs succédanés du chiffon.

La planche 221 représente une machine identique à celle qui était exposée; la seule différence consiste en ce que la machine qui se trouvait au Champ de Mars était mue par des machines à vapeur pouvant développer ensemble une puissance effective de 50 chevaux-vapeur, tandis que notre dessin se rapporte à une machine Vœlter actionnée par une roue hydraulique à augets, dite roue *en-dessus*.

Nous n'entrerons pas dans de longues explications sur les principes et les détails de cette fabrication; une légende suffira au lecteur pour lui rappeler les différentes parties dont la machine se compose :

A Monte-charge élevant le bois sur le plancher du défibreur.

C Scie circulaire pour débiter le bois en bûches de 0m.300 environ de longueur.

D Défibreur; c'est la partie de la machine qui exige la plus grande somme de puissance motrice. Il se compose d'une meule montée sur un arbre horizontal, comme les grandes meules de taillanderie, et contre laquelle sont pressées les bûches de bois par des *poussoirs* mécaniques qui produisent l'avancement constant et régulier des bûches à mesure qu'elles s'usent. Ces poussoirs sont mis en mouvement par l'arbre même de la meule. Un courant d'eau continu arrive sur la circonférence de la meule pour empêcher l'échauffement du bois et emporter la pâte produite. Disons ici, en passant, que l'eau fournie à la machine Vœlter, à l'Exposition, était très-sale et nuisait considérablement à l'éclat et à la blancheur de la pâte fabriquée.

V S Premier épurateur servant à enlever les éclats de bois qui forment déchet en quantité minime et séparant la pâte fine de celle qui doit passer au raffineur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

R Raffineur consistant en deux meules horizontales disposées comme les meules d'un moulin à blé.

K Grue-potence soulevant et déplaçant les meules pour le rhabillage.

P Pompe qui élève l'eau nécessaire au service de la machine dans le réservoir W d'où partent les conduites de distributions.

S Assortisseur servant à diviser la pâte suivant les degrés de finesse et à l'envoyer dans les caisses nos 1, 2, 3.

Z' Presse-pâte pour égoutter la pâte destinée à l'expédition.

Les diverses parties du mécanisme présentent toutes les dispositions propres à assurer une bonne fabrication et une conduite très-facile de la machine.

A côté de cette machine, M. Vœlter a exposé une collection d'échantillons de papiers renfermant depuis 30 p. 100 jusqu'à 66 p. 100 de pâte de bois.

Chloro-extracteur Orioli.

L'opération du blanchiment des pâtes à papier est l'une des plus importantes et des plus coûteuses de la fabrication du papier. Elle s'opère soit à l'aide du chlore gazeux, soit à l'aide d'une dissolution d'hypochlorite de chaux. Dans ce dernier cas, il importe que la dissolution soit préparée avec beaucoup de soin.

Dans son traité *De la décoloration et du blanchiment des chiffons*, M. E. Bourdilliat a indiqué les différentes méthodes usitées pour la dissolution du chlorure. Nous rappelons ici ce qu'il en dit :

« Le chlorure de chaux, soluble dans le 1/4 de son poids d'eau, à la température de 15°, et en toutes proportions à 50°, peut se dissoudre simplement en « faisant arriver une gerbe d'eau sur un tamis qui en contient 2 à 3 kil. qu'on « écrase avec une pelle. Ce moyen primitif est généralement remplacé par un « tonneau en cuivre, percé de trous sur son contour, et qui tourne horizontale- « ment sur un axe. Dans ce tonneau, on met le chlorure et des morceaux de « plomb; on fait tourner, et on ouvre un robinet qui introduit, par le moyen « d'un tube horizontal percé de trous, de l'eau qui, passant dans l'intérieur du « tonneau, dissout en s'échappant le chlorure qui est reçu dans un réservoir; « on remonte la dissolution à l'aide d'une pompe, si le réservoir est à la partie « supérieure. Un tamis retient les pâtons ou les ordures qui auraient pu passer « à travers les trous du tonneau.

« Les morceaux de plomb, entraînés par moments dans le mouvement de « rotation, retombent sur le chlorure, l'écrasent et le préparent à être dissous « facilement.

« Quand on ne peut se servir de ce mode de dissolution, voici comment on « peut procéder :

« On prend quatre réservoirs, dont la capacité est calculée selon les besoins « de la fabrique, on les munit d'un robinet en plomb placé à 20 centimètres du « fond; chaque réservoir porte un numéro d'ordre. On introduit la dose jour- « nalière dans un seul, on met simplement de l'eau dans les trois autres, pour « laver et dissoudre les dépôts des jours précédents; à chaque dissolution on « change le réservoir qui doit recevoir la dose. Quand les quatre dissolutions « sont tirées à clair, on ouvre ensemble les quatre robinets dont elles sont mu- « nies, et on envoie le tout dans un seul dépôt, duquel on les tire pour les be- « soins du blanchiment. De cette manière, on est à peu près certain d'avoir tou- « jours le chlorure au même titre, en même temps qu'on épuise, par les trois « relavages que subit chaque réservoir, les dépôts qui s'y forment. »

Il est cependant indispensable, malgré cette précaution dans la dissolution, de titrer chaque nouveau tonneau livré aux blanchisseurs, afin de se rendre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compte de la qualité du chlorure que l'on achète et des variations que doit subir le poids de la dose journalière qui entre en dissolution.

Cet essai du titre se fait généralement par la méthode chlorométrique de Gay-Lussac, qui donne les meilleurs résultats pratiques.

On sait, par expérience, combien tous les appareils en usage aujourd'hui pour faciliter la dissolution du chlore sont incomplets.

MM. Z. Orioli, de Pontcharra, et Henry viennent d'inventer et de faire breveter un ingénieux appareil, destiné à suppléer à ce qu'ont d'imparfait et d'incommode les anciens procédés de dissolution du chlorure de chaux, y compris ceux relatés plus haut. Nul doute qu'avant peu il ne leur soit substitué dans toutes les fabriques de papier et dans les nombreuses usines qui emploient le chlore.

Une des qualités de cet appareil, représenté sur la fig. 1 de la planche 222, c'est sa grande simplicité. Il présente de véritables avantages que nous énumérons plus loin.

Son travail est aussi énergique que celui du pilon et du mortier quelquefois employés. L'appareil proposé par MM. Z. Orioli et Henry, qui fonctionne depuis quelque temps dans la manufacture de pâtes à papier obtenues par procédés chimiques à Pontcharra (Isère), économise dans cette usine environ 30 francs de chlore par jour. Construit en bronze, il résiste parfaitement à l'action oxydante et corrosive du chlore, surtout si l'on a soin, après chaque opération, de le rincer.

L'appareil est muni d'une manivelle; mais il possède en même temps une poulie, de façon que, lorsque l'emplacement le permet, il est possible de le faire marcher mécaniquement. Il doit faire 400 tours environ par minute. On peut, sans fatigue, lui donner à bras cette vitesse. Il débite en une heure environ 100 kil. de chlorure de chaux. Il doit être installé sur le réservoir à chlorure, qui peut être disposé comme il a été dit plus haut, c'est-à-dire formé de quatre cuviers, afin d'épuiser totalement le chlorure de chaux et d'avoir constamment une dissolution au même titre. On adapte, sur la trémie dont l'appareil est muni, un robinet fournissant 800 à 1000 litres d'eau par *heure*. On fait tourner l'appareil, on ouvre le robinet et on verse avec une pelle le chlorure de chaux dans la trémie au fur et à mesure du débit, en ayant soin de maintenir la trémie à peu près pleine de matière. Si elle tend à déborder, on ferme le robinet, et, avant de le rouvrir et d'ajouter du nouveau chlorure, on attend que l'écoulement se rétablisse.

Il est essentiel, pour la réussite de l'opération, que l'écoulement de l'eau soit continu et qu'il précède la mise du chlorure.

Nous engageons donc les fabricants à établir un robinet au-dessus de l'appareil, et non à verser l'eau à la main.

A la fin de l'opération, il faut *toujours* prendre le soin de rincer l'appareil.

Pour ne pas avoir un chlorure trop riche, on est obligé de le couper avec de l'eau, de manière à avoir constamment le même titre, et l'on agite la masse avant de laisser reposer le tout.

Au bout de deux ou trois heures, l'excès de chaux que le chlorure contient se dépose et le liquide s'éclaircit. Quand toute la dissolution du chlorure de chaux est employée, on verse le dépôt dans un réservoir à part pour le décanter après cinq ou six opérations successives, ce qui permet de ne rien perdre.

MM. Montgolfier père et fils, de Montbard (Côte-d'Or), ont exposé une raffineuse centrifuge, dite *pulp-engine* (fig. 2, 3, 4 et 5, pl. 222).

Cette machine, dont il a été beaucoup parlé dans le temps, n'a pas donné, au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins en France, les résultats qu'on devait en attendre, peut-être parce qu'elle n'a pas été appliquée d'une manière convenable. En Angleterre et en Amérique elle est d'un grand usage, mais plutôt pour la trituration des pâtes de plantes textiles. En Allemagne et en Italie, plusieurs fabriques l'emploient pour le raffinage des pâtes de chiffons.

Cet appareil se compose d'une meule mobile montée sur un arbre horizontal et tournant entre deux meules fixes. L'arbre horizontal porte une poulie de commande F. Les trois meules sont enfermées dans une caisse en fonte E, et leur écartement peut se régler au moyen des volants V V, et d'une vis sans fin. Les meules portent des lames disposées comme l'indiquent les fig. 3 et 4. La pâte, élevée dans un réservoir supérieur au moyen d'une pompe C, est amenée à l'appareil par le tuyau T et y est soumise à l'action successive des deux faces de la meule mobile.

Employée pour le travail des pâtes de succédanés, ou bien encore pour l'affleurage des pâtes de chiffons, cette machine, ne demandant pour cette dernière opération qu'une force de 12 à 15 chevaux, pourra rendre de grands services; MM. Montgolfier ont remplacé les lames de fonte des disques et platines par des lames d'acier fixées dans une tourte en zinc, ce qui permet, comme pour les platines de MM. Meyer et Cie, dont nous avons parlé plus haut, un retaillage prompt et facile et doit réduire considérablement la force exigée par le *pulp-engine*.

Nous allons maintenant passer en revue les machines figurant à l'Exposition, et qui servent soit à convertir la pâte en papier, soit à donner à celui-ci les apprêts nécessaires avant qu'il soit prêt à être livré au commerce.

Nous commencerons notre examen par la machine à papier de MM. Dautrebande et Thiry, exposée dans l'annexe belge, et qui mérite, à tous égards, que nous nous y arrêtions un peu longuement.

§ 1. — Épurateur.

La machine exposée commence à l'épurateur; mais il est bien entendu que cet appareil doit être précédé de sabliers d'une surface d'autant plus étendue qu'on voudra mieux purger la pâte des corps plus denses qu'elle (sable, etc.).

L'épurateur, dit à double effet, est du système breveté des constructeurs de la machine (voir fig. 6 et 7 de la planche 222).

L'épurateur oscille sur les points 1, et reçoit un mouvement de secousse par les cames 2.

La pâte est d'abord distribuée dans les quatre compartiments A, et traverse des rainures faites dans des plaques en cuivre pour tomber dans le bac B. La pâte remonte ensuite, par la pression due à son niveau supérieur, dans les compartiments C, en traversant d'autres rainures, passe sur des feuilles en caoutchouc D, tombe dans le chenal F pour être distribuée sur la machine à papier.

Ainsi, la pâte passe d'abord de haut en bas et ensuite de bas en haut, dans le même épurateur; dans le premier cas, elle traverse des rainures plus larges que dans le second. Pour des machines à papier d'une faible production, on peut ne placer qu'un épurateur au lieu de deux, mais toujours à double effet, c'est-à-dire deux compartiments A et deux compartiments C.

Pour le rinçage de l'épurateur, une disposition particulière et représentée sur le dessin permet de le lever et de le maintenir dans une position inclinée.

La manivelle 3 commande une vis sans fin 4, laquelle engrène avec un pi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gnon denté 5; ce dernier met en mouvement deux pignons 6, qui forcent les crémaillères courbes 7 à soulever les deux épurateurs; ceux-ci tournent sur les boutons 8 placés de manière à ne pas forcer sur le caoutchouc D.

L'épurateur est suivi d'une table fixe présentant des chicanes transversales, qui obligent la pâte à s'écouler par cataractes successives, absolument comme dans un sablier. Cette table nous paraît inutile ici, si on la considère comme un sablier dont l'action doit précéder nécessairement celle de l'épurateur; l'agitation que sa présence occasionne dans le mouvement de la pâte peut encore permettre la formation des pâtons, que l'épurateur a pour mission d'éliminer. Suivant nous, il faut que la pâte ait à parcourir un chemin aussi court que possible depuis l'épurateur jusqu'à la table de fabrication.

§ 2. — Porte-format et réglage de l'épaisseur du papier.

(Figures 8 et 9, planche 222.)

La machine exposée est construite pour une largeur de 1m.85 de papier rogné. La largeur livrée à la table de fabrication est réglée à l'aide de deux charriots parallèles *a a'*, qui sont réunis par deux arbres transversaux A, portant à leurs extrémités deux filetages en sens inverse l'un de l'autre; un petit arbre B et deux paires de petites roues coniques relient les deux arbres filetés A, dont l'un est muni d'un volant placé du côté du conducteur de la machine.

Les chariots *a a'* glissent en s'approchant ou en s'éloignant l'un de l'autre sur deux guides cylindriques D. Ces chariots portent les courroies en caoutchouc qui limitent de chaque côté la largeur du papier.

A l'aide d'un arbre transversal E, qui agit sur deux manchons de débrayage F, F, on peut isoler le charriot *a'* opposé au conducteur; dans ce cas, le mouvement donné au volant C ne se transmet qu'au charriot *a*. Cette disposition permet de déplacer transversalement la feuille de papier sur la toile quand l'un des bords de cette toile est endommagé. Les dispositions de ce mécanisme présentent donc toutes les facilités désirables pour le réglage du format; elles permettent de réduire au strict nécessaire la largeur des rognures.

L'épaisseur du papier se fixe à l'aide de deux règles parallèles R et R', formées chacune de deux parties à coulisses dont la jonction est faite par deux boulons carrés. Ces boulons sont légèrement serrés, en sorte que les deux parties de chaque règle glissent l'une sur l'autre, et ne se voilent pas quand on écarte ou qu'on rapproche les deux chariots *a* et *a'*. Les deux règles sont retenues à leurs extrémités par de *petites presses à vis* qui les fixent aux chariots *a* et *a'*. En outre, elles sont soutenues en leur milieu par deux vis verticales de rappel V et V' qui tournent dans deux douilles faisant partie d'un support S fixé au guide transversal D. Ces vis de rappel permettent de régler pendant la marche le passage de la pâte sous les règles, de façon à répartir cette pâte en quantité suffisante sur la largeur du format, en élevant ou en abaissant le milieu des règles.

§ 3. — Table de fabrication.

La machine exposée peut produire des papiers pesant de 25 à 400 grammes le mètre carré; mais les constructeurs se sont attachés surtout à la mettre dans les conditions les plus favorables à la fabrication des papiers de 75 grammes environ.

La table de fabrication présente une longueur très-convenable pour cette sorte. Outre qu'une table plus longue aurait l'inconvénient de rendre plus dif-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ficiles un bon guidage et une bonne conduite de la toile, elle rendrait plus difficile la fabrication des papiers minces; cela est tellement vrai que les papiers de 50 grammes ne se feutrent pas bien sur la toile de la machine en question, si l'on n'atteint une certaine vitesse.

Les rouleaux en cuivre qui soutiennent la toile sont reçus dans des coussinets en bronze qui, pour un même côté, sont fondus tout d'une seule pièce. Cette disposition, qui simplifie la construction, nous paraît sujette à critique; il est impossible, en effet, de niveler les rouleaux indépendamment les uns des autres; or, il n'est pas admissible que les tourillons et les coussinets des rouleaux s'useront tous exactement de la même quantité; en outre, cette disposition exige un *calibrage* parfait de tous les rouleaux, tandis que cela n'est pas aussi nécessaire quand les coussinets sont indépendants les uns des autres.

Du côté du conducteur, le bâti de la table de fabrication est porté sur pointes, tandis que du côté du mouvement de va-et-vient (dont nous parlerons plus loin) ce bâti est porté sur charnières; nous préférons l'emploi des charnières qui offrent plus de solidité et plus de stabilité qu'une pointe. Il est bon de faire remarquer que la préférence donnée aux pointes par certains constructeurs paraît motivée par la réduction du frottement; mais c'est là une considération puérile si l'on remarque que, même avec des charnières, le frottement est insignifiant, puisque le déplacement transversal de la table est toujours minime.

Les courroies en caoutchouc qui guident le papier jusqu'aux caisses aspirantes s'enroulent sur deux tambours montés sur un arbre transversal établi au-dessus de la table de fabrication, immédiatement en avant des caisses aspirantes. Sous ces tambours sont placés des bacs à double fond qui reçoivent l'eau de lavage de ces courroies et empêchent les gouttes d'eau de tomber sur le papier. L'arbre qui porte les tambours est muni d'une poulie extensible dont l'utilité est incontestable pour régler la marche des courroies d'après celle de la toile. Les fabricants savent, par exemple, que pour les papiers minces on ralentit la marche des courroies par rapport à la table; il en résulte que ces courroies forment sur chaque bord de la feuille un petit bourrelet qui la renforce et évite les cassés au sortir de la presse humide.

Avant de quitter la toile, le papier passe sur trois caisses aspirantes à joints hydrauliques et à siphon du système Kauffmann.

Ces caisses sont à double fond; au montage, on perce un trou sur le devant et vers le bas de ces caisses, pour alimenter d'eau le compartiment inférieur.

Les deux intervalles existant entre les trois caisses aspirantes sont disposés pour recevoir chacun un rouleau *égoutteur* (qui peut être *vergeur* en même temps), surmonté d'un tube pisseur. Les rouleaux égoutteurs appuient sur la toile qui, contrairement à ce qui a lieu dans beaucoup de machines, n'est pas soutenue par des rouleaux en cuivre.

Les constructeurs de la machine que nous décrivons ici ont eu souvent occasion de remarquer que ces rouleaux donnent trop de roideur à la toile et que, par suite de leur présence, le cylindre vergeur faisait des trous dans les papiers d'environ 50 grammes.

Pour bien travailler, il convient, au contraire, de détendre la toile jusqu'au point où le papier ne s'écrase pas encore sous la presse humide. Les rouleaux de support ont un inconvénient spécial dans l'emploi des caisses Kauffmann. Pour qu'ils soient entraînés par le mouvement de la toile, il faut qu'ils donnent à celle-ci une tension suffisante; mais, si le conducteur n'est pas très-attentif, cette tension a pour effet de détacher la toile du dessus des caisses qui, dès lors, se désamorcent et occasionnent des écrasés.

Dans la machine exposée, les caisses aspirantes sont suffisamment rappro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chées les unes des autres, pour que les rouleaux égoutteur et vergeur n'aient pas besoin de contre-rouleaux sous la toile.

§ 4. — Presses et guide-toile.

La presse humide présente quelques dispositions particulières très-intéressantes.

Les deux cylindres sont creux et en fonte : le cylindre inférieur est garni d'une chemise en bronze ; le cylindre supérieur est recouvert de feutre. Le cylindre supérieur ou *manchon* est surmonté d'une *brosse* animée d'un mouvement de va-et-vient qui le nettoie constamment ; c'est une addition très-heureuse faite par MM. Dautrebande et Thiry. Ajoutons encore que le manchon est mobile, et que la pression qu'il transmet au cylindre inférieur se règle par l'intermédiaire de deux ressorts à boudin, sur lesquels on agit à l'aide de deux vis verticales portant chacune un volant.

Le *docteur* en bois qui touche la presse humide est fixé par des boulons librement engagés dans des rainures verticales pratiquées dans le docteur ; cette pièce peut donc suivre les mouvements de montée et de descente du manchon.

Du côté du conducteur, et immédiatement à la suite du cylindre inférieur de la presse humide, le bâti porte une sorte de *trusquin fixe*, dont l'index mobile se règle par le conducteur, quand celui-ci est parvenu à régler l'allure de la machine et le poids du papier. La pointe de l'index se place alors à la hauteur à laquelle le papier quitte le cylindre inférieur de la presse humide. Le conducteur, en observant la position du papier par rapport à cette pointe, sait immédiatement si l'allure de sa machine a changé, et il peut y remédier sans recourir chaque fois à un nouveau pesage.

En admettant que les indications de cet appareil ne soient pas d'une précision mathématique, il n'en est pas moins très-recommandable, parce qu'il avertit le conducteur qu'il doit vérifier le poids du papier.

Les deux presses sèches qui suivent la presse humide n'ont de particulier que le mécanisme du relevage (vis de rappel et ressorts à boudin) et leur système de débrayage, appliqué aussi à la presse humide. Ces débrayages sont actionnés par le conducteur à l'aide de tiges qui passent dans l'intérieur des cylindres inférieurs des presses.

En terminant ce paragraphe, nous appellerons l'attention des fabricants sur l'appareil simple et ingénieux à l'aide duquel MM. Dautrebande et Thiry maintiennent la toile et les feutres dans la direction convenable. Nous n'insisterons pas sur l'incontestable utilité de cet appareil qui est adopté aujourd'hui dans un grand nombre de papeteries. Cependant le guideur n'a guère été appliqué, en France au moins, qu'à la toile métallique ; son action sur les feutres n'est pas moins profitable, et un fabricant de papier nous a fait observer que pendant longtemps il s'opposait à cette application, mais que, depuis qu'elle existe à sa machine continue, son feutre sécheur lui dure à peu près deux fois plus longtemps, sans parler de la réduction dans le poids des rognures qu'un guideur produit nécessairement.

Voici une courte description du guide-toile :

Il se compose (voir fig. 1 et 2 de la planche 223) d'un rouleau conducteur A, porté à l'un de ses bouts par le coussinet mobile B et à l'autre bout par un coussinet fixe ; d'une courroie C, qui passe sur le rouleau et lui donne un mouvement de rotation ; d'une règle en bois D, portée à ses extrémités par le levier E et un levier correspondant placé de l'autre côté de la machine : elle porte deux palettes en cuivre F, entre lesquelles passe la toile ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une petite manivelle G, qui donne le mouvement au levier H, lequel porte un autre levier à fourche I; d'une roue J, portant des dents sur ses deux faces. Dans ces conditions, la toile ne peut se déplacer sans entrainer la règle D, qui, par l'intermédiaire de deux bascules E, oblige le levier à accrocher la roue J sur l'une de ses faces. L'arbre fileté K reçoit alors un mouvement de rotation et place hors équerre le cylindre conducteur A, à droite ou à gauche, suivant le sens du déplacement de la toile. Le changement de position de ce cylindre empêche la toile de se déplacer davantage. Cet appareil se commande lui-même, c'est-à-dire que le cylindre conducteur se déplace automatiquement, par son propre mouvement.

§ 5. — Sécherie.

Avant d'aborder l'examen détaillé de la sécherie, il est nécessaire que nous présentions quelques considérations générales sur le séchage du papier à l'aide de la vapeur. Nous avons cru devoir développer avec toute l'étendue nécessaire les calculs sur lesquels repcsent les conclusions auxquelles nous sommes arrivé sur cette importante question, sans contredit la plus intéressante, au point de vue économique, de toutes celles qui se rattachent à la machine à papier.

(A) *Détermination du poids de vapeur nécessaire pour le séchage et de la surface à donner aux cylindres sécheurs.*

Nous prendrons pour sujet de nos calculs une machine à papier produisant par heure 100 kil. de papier sec.

En quittant les presses sèches, le papier renferme encore une grande proportion d'eau que nous estimerons, par approximation, à 50 pour 100 au moins de son poids. Nous admettrons même ici que 100 kil. de papier sec sortant du dernier sécheur doivent abandonner 100 kil. d'eau dans la sécherie.

Nous supposerons :

1° Que la température du papier à son arrivée à la sécherie est de 15°;

2° Que la température du papier à sa sortie du dernier sécheur est de 40° : il aura donc subi une élévation de température de 25°;

3° Que la vapeur arrive à la sécherie à une pression de 1 atmosphère 1/2 : sa température est alors de 112°.4;

4° Que cette vapeur doit être entièrement condensée dans les sécheurs, d'où elle sort à l'état d'eau à 80°.

Les 100 kil. d'eau à enlever par heure au papier exigent, pour leur évaporation, une quantité de chaleur exprimée par 100 kil. $(606.5 + 0.305 \times 25)$. Cette quantité de chaleur doit être fournie par un certain poids x de vapeur prise à 112°.4, et condensée à 80°. Ce poids x de vapeur abandonnera donc une quantité de chaleur égale à la précédente et exprimée par

$$x\ (606.5 + 0.305 \times 112.4 - 80).$$

De l'égalité de ces deux expressions, on conclut : $x = 109^{k}.50$ de vapeur par heure.

Déterminons maintenant les conditions que la sécherie doit remplir pour condenser à 80°, sur la surface des sécheurs en contact soit avec le papier, soit avec les feutres, les $109^{k}.50$ de vapeur nécessaires au séchage.

La température moyenne de la vapeur est de

$$\frac{112°.4 + 80°}{2} = 96°.2;$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la température moyenne du papier est de

$$\frac{40^{0} + 15^{0}}{2} = 27^{0}.5 ;$$

par conséquent, la différence moyenne de température entre la vapeur et le papier est de $96^{0}.2 - 27^{0}.5 = 68^{0}.7$.

Or, il résulte des nombreuses expériences citées par Péclet dans son *Traité de la chaleur* (édition de 1860) que chaque mètre carré de la surface des cylindres sécheurs peut condenser par heure 2 kil. de vapeur pour une différence moyenne de température d'environ 75°. Nous compterons ici sur ce chiffre de 2 kilog., bien que la différence moyenne de température soit un peu inférieure à 75°.

La surface des sécheurs en contact tant avec le papier qu'avec les feutres doit donc être de

$$\frac{109^{k}.5}{2} = 54^{mc}.75$$

pour les conditions où nous nous sommes placé.

Supposons que la sécherie de la machine se compose de cylindres sécheurs de $0^{m}.800$ de diamètre et de 2 mètres de longueur (ou largeur de table), et que chaque cylindre soit entouré sur les trois quarts au plus de sa circonférence par le papier ou les feutres, il en résulte que la surface *utilisée* de chaque sécheur n'est que les trois quarts de sa surface cylindrique, soit $3^{mc}.77$. Donc il faudrait que la sécherie en question fût composée de

$$\frac{54^{mc}.75}{3.77} = 14 \text{ cylindres sécheurs.}$$

Mais la surface totale des cylindres sécheurs comprend : 1° les trois quarts utilisés de leur surface cylindrique ; 2° le quart non utilisé de cette même surface ; 3° la somme des surfaces des vingt-huit fonds, ce qui fait en tout 87 mètres carrés.

Par conséquent, au lieu de condenser $109^{k}.50$ de vapeur par heure, la sécherie en condensera réellement

$$109^{k}.50 \times \frac{87^{mc}}{54.75} = 174 \text{ kilog.}$$

Tel est le poids de vapeur à une atmosphère et demie qu'il faudra fournir par heure à la sécherie en question.

Or, ces 174 kilog. de vapeur peuvent être pris à six atmosphères et utilisés dans une machine à vapeur sans condensation préalablement à leur envoi dans la sécherie. Comme ils pourront être détendus dans le rapport de 1 à 4, dans le cylindre de la machine à vapeur, il en résulte qu'ils pourront fournir *gratuitement pour ainsi dire* une puissance effective de 8 chevaux-vapeur.

Ainsi avec une sécherie bien disposée, c'est-à-dire présentant une surface suffisante, la vapeur d'échappement d'une machine de 8 chevaux, introduisant durant un quart de la course, suffit pour enlever par heure 100 kil. d'eau à 200 kilog. de papier mouillé sortant des presses.

Péclet, dans son ouvrage, résume de nombreuses expériences faites en Alsace sur les cylindres à sécher les étoffes (les calicots) et exactement disposés comme les sécheurs à papier. Il résulte de ces expériences que l'évaporation de $3^{k}.5$ d'eau exige 1 kil. de houille ; par conséquent, dans l'hypothèse où nous nous sommes placé, le poids de houille à dépenser par heure serait de

$$\frac{100 \text{ kil.}}{3.5} = 30 \text{ kil.,}$$

en nombre rond. Comme 1 kil. de houille peut facilement produire $5^{k}.5$ de va-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peur, il en résulte qu'il faudrait employer par heure $30 \times 5^{k}.5 = 165$ kil. de vapeur. Ce nombre tient compte des pertes dues à l'action de l'air extérieur et à la surface non utilisée.

Il suppose en outre, d'après les expériences précitées, que l'on ferait usage de vapeur à une pression de $1^{atm}.8$ (118° environ) condensée à 100°.

Nos calculs nous ont conduit à 174 kil. (au lieu de 165) avec de la vapeur à 112°.4 condensée à 80°.

Les deux résultats concordent suffisamment.

Or, 174 kilog. de vapeur exigent environ 32 kil. de houille ; donc pour 100 kil. de papier sec, le séchage rationnellement établi représente une dépense de 32 kil. de charbon, c'est-à-dire $0^{k}.32$ de charbon par kilogramme de papier sec.

(B) *Examen de ce qui se passe dans une sécherie dont la surface est insuffisante.*

Prenons pour exemple une sécherie ordinaire composée de sept cylindres sécheurs de $0^{m}.800$ de diamètre et d'un cylindre apprêteur de 1 mètre de diamètre ; largeur de table 2 mètres.

La surface totale de cette sécherie égale 50 mètres carrés, dont $31^{mc}.10$ seulement peuvent être utilisés.

Cette surface utilisée condensera par heure seulement $62^{k}.20$ de vapeur, au lieu de $109^{k}.50$; le *déficit* ou l'insuffisance de séchage correspondra à la non-condensation de $47^{k}.30$ de vapeur par heure, représentant une quantité de chaleur de 26,525 *calories* par heure.

Ce déficit ne peut être comblé par la chaleur fournie par une circulation *très-active* de vapeur d'échappement prise à 112°.4 et sortant de la sécherie à 100° à l'état de vapeur (puisqu'elle ne peut être condensée). En effet, il faudrait faire circuler par heure 7,017 kilog. de vapeur. Or, un tel résultat montre l'impossibilité d'obtenir l'effet demandé avec la surface de sécherie supposée, si la température de la vapeur ne dépasse pas 112°.4, c'est-à-dire si sa pression n'est pas supérieure à une atmosphère et demie.

Si, par un calcul très-simple que nous ne pouvons détailler ici, on cherche à quelle pression (ou température) doit être prise la vapeur pour qu'en se condensant à 100° sur une surface de $31^{mc}.10$, elle produise l'évaporation de 100 kil. d'eau à extraire du papier, on trouve que cette température devrait être de 214° ; ce qui correspond à une pression de 20 atmosphères. C'est là un procédé impossible à réaliser.

En général, on ne peut donc pratiquement compenser l'insuffisance de la surface des sécheurs en employant de la vapeur à haute pression. Le meilleur remède, en dehors de l'augmentation de cette surface, consisterait à employer de la vapeur à une atmosphère et demie (112 environ) et à la surchauffer, *sans augmentation de pression* (jusqu'à 214° dans l'hypothèse de nos calculs) avant de l'introduire dans la sécherie. Nous reviendrons plus loin sur cette solution.

Il n'y a *aucune économie* à faire arriver à la sécherie un poids de vapeur d'échappement supérieur à celui que la surface de cette sécherie peut condenser.

(C) *Y a-t-il économie, pour le séchage, à prendre directement à la chaudière de la vapeur à haute pression, à cinq atmosphères par exemple, et à la condenser dans la sécherie à 80° ?*

Un calcul identique à celui du paragraphe (A) indique que, dans ce cas, le poids de vapeur à condenser par heure sur la surface *utilisée* des sécheurs devrait être de 107 kil. au lieu de $109^{k}.50$.

Ainsi, l'avantage est *pratiquement* insignifiant. Cela résulte de ce que la plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grande partie de la chaleur fournie par la vapeur qui se condense est due à la chaleur *latente* de vaporisation (environ 500 *calories* par kilog. de vapeur).

Donc, au point de vue de l'utilisation économique de la vapeur dans la sécherie, il faut employer de la vapeur à une atmosphère et demie de pression environ ; mais il en résulte la nécessité d'augmenter beaucoup la surface des sécheurs par rapport à ce qu'elle est habituellement.

(D) *Application des considérations qui précèdent à une papeterie qui n'a besoin que d'une machine à vapeur auxiliaire de 25 chevaux effectifs, la pression de la vapeur dans le cylindre étant supposée égale à six atmosphères.*

Deux combinaisons principales doivent être examinées :

Première combinaison. *La machine est sans condensation et elle admet la vapeur durant les deux tiers de la course (machine économique comme prix d'installation) ; sa vapeur d'échappement est employée au séchage du papier.*

Cette machine de 25 chevaux effectifs exigera au moins 483 kil. de vapeur par heure, soit, en charbon, 88 kil.

Deuxième combinaison. *La machine est à condensation, avec introduction durant un dixième de la course, et l'on emploie pour le séchage du papier soit de la vapeur directe, soit de la vapeur qui fera mouvoir la machine à papier.*

Cette combinaison présente donc deux subdivisions.

La première donne les résultats suivants :

La machine de 25 chevaux, à détente et condensation, brûlera au plus par heure et par cheval 1k.6 de charbon, soit pour 25 chevaux. . . . . 40k.

Ajoutons à cela le charbon nécessaire pour la production des 174 kilog. de vapeur directe nécessaire au séchage, soit . . . . . 31 .6

Consommation totale de charbon par heure. . . . . 71 .6

soit 72 kilog.

Économie réalisée par rapport à la première combinaison :

88k — 72 = 16 kil. de charbon par heure, ou 384 kil. en 24 heures.

La deuxième subdivision de la deuxième combinaison fournit les chiffres suivants :

Remarquons que les 174 kil. de vapeur employés au séchage peuvent être préalablement utilisés comme force motrice et donner une puissance d'au moins 6 chevaux effectifs.

En sorte qu'en prenant pour terme commun de comparaison une force totale de 25 chevaux-vapeur, la consommation de combustible s'établit comme suit :

Machine à condensation de 19 chevaux seulement 30k.4

Charbon pour le séchage et pour la machine à vapeur de 6 chevaux conduisant la machine à papier . . . . . 31 .6

Consommation totale de charbon par heure 62k.0

Économie réalisée par rapport à la première combinaison :

88k — 62k = 26k par heure, ou 624k de charbon en 24 heures.

(E) *Emploi d'une sécherie à surface réduite et de la vapeur d'échappement surchauffée.*

Considérons la sécherie examinée dans le § (B) :

La surface totale étant de 50 mètres carrés condensera par heure 100 kil. de vapeur. Nous avons vu que la température de cette vapeur devrait être portée de 112°.4 à 214 environ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Or, la production des 100 kil. de vapeur à 1 atmosphère et demie exige 18ᵏ.18 de charbon.

Pour élever de 112°.4 à 214 la température de cette vapeur, sans augmentation de pression, c'est-à-dire en lui permettant de se dilater, il suffit de dépenser 1ᵏ.42 de charbon.

En sorte que la dépense totale de charbon pour le séchage de 100 kil. de papier serait, dans ce cas, de 19ᵏ.60 ; soit 0ᵏ.196 de charbon par kilog. de papier fabriqué.

Ajoutons que ces 100 kil. de vapeur, étant d'abord utilisés dans une machine à vapeur sans condensation, donneront amplement la force nécessaire pour faire mouvoir la machine à papier. Il en résulte que le calcul établi à la fin du paragraphe précédent devient :

Dépense de charbon pour la machine à condensation de 19 chevaux effectifs	30ᵏ.4
Charbon pour la puissance motrice de la machine à papier (6 chevaux environ), le surchauffage et le séchage.	19 .6
Consommation totale de charbon par heure = ...	50ᵏ.

Économie réalisée par rapport à la première combinaison étudiée dans le § (D) :

88ᵏ — 50ᵏ = 38ᵏ de charbon par heure ; soit 912 kil. en 24 heures.

Ce procédé est de tous le plus économique, tant sous le rapport de la dépense d'installation de la sécherie que sous celui du charbon employé ; mais on a l'embarras du surchauffage de la vapeur. La température à atteindre (214° dans l'hypothèse où nous nous sommes placé) déterminerait une altération considérable dans la qualité du papier et une usure rapide des feutres.

Nous conseillerions donc de ne pas dépasser une température de 120 à 130° au plus et d'établir en conséquence les dimensions de la sécherie.

Le surchauffage de la vapeur doit s'effectuer dans des tuyaux en fonte ou en fer étiré de 0ᵐ.060 de diamètre au plus, disposés comme l'indique la figure 3 (pl. 223). La fumée circule autour de ces tuyaux en sens inverse de la vapeur (voir la fig. 3 de la planche 223).

(F) *Résumé et conclusions sur les seules dispositions admissibles pour une bonne utilisation de la vapeur dans la sécherie d'une machine à papier.*

Nous serons bref en nous résumant par le tableau suivant :

1° Sécherie à grande surface.	(*a*) Mettre à condensation toutes les machines à papier de l'usine : prendre directement la vapeur dans la chaudière pour le séchage, mais la détendre à 1 atmosphère 1/2 environ, avant son entrée dans les sécheurs.
	(*b*) Mettre à condensation toutes les machines à vapeur de l'usine, à l'exception des petites machines à vapeur motrices des machines à papier, dont on devra calculer les dimensions pour qu'elles fournissent la quantité de vapeur d'échappement nécessaire au séchage du papier.
2° Sécherie à surface réduite.	(*c*) Mettre à condensation toutes les machines à vapeur de l'usine, à l'exception des petites machines motrices des machines à papier, dont la vapeur d'échappement surchauffée servira au séchage.

Les données que nous avons prises peuvent s'éloigner de la vérité dans beau-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coup de cas particuliers. L'absence d'expériences directes nous a conduit à faire quelques hypothèses pour indiquer aux fabricants la marche à suivre dans l'étude d'une question si importante. Nous serions heureux que la discussion à laquelle nous nous sommes livré eût pour résultat d'amener les fabricants à faire quelques expériences bien complètes, qui permettraient de mettre d'accord irrévocablement des opinions fort opposées. Nous nous tenons à leur disposition pour leur indiquer la manière dont ces expériences devraient être faites pour amener des conclusions bien positives.

(G) *Examen de la sécherie de la machine à papier de MM. Dautrebande et Thiry.*

La figure 4 de la pl. 223 est un croquis de la disposition de la sécherie de la machine exposée ; la légende explicative qui termine ce paragraphe indique bien clairement la marche de la vapeur et de l'eau de condensation, qui s'effectue en sens inverse de la marche du papier ; c'est-à-dire que le papier le plus sec est en contact avec les sécheurs les plus chauds et le papier le plus mouillé avec les sécheurs les moins chauds. Ce séchage est donc tout à fait méthodique et rationnel, et nous n'avons que des félicitations à adresser aux constructeurs pour cette intelligente et utile disposition.

L'entrée et la sortie de la vapeur ou de l'eau de condensation se font par un seul tourillon de chaque sécheur ; c'est une grande simplification qui ne nuit en aucune façon à la bonne utilisation de la vapeur, et qui laisse libre complétement le côté de la sécherie où se tient le conducteur.

Les tuyaux d'arrivée et de retour sont courbés de façon à ce que la dilatation de ces tuyaux se produise sans qu'il en résulte des coincements dans les garnitures des tourillons.

La surface cylindrique totale de cette sécherie est de $60^{mc}.32$, dont les trois quarts au plus (45 mètres carrés) sont utilisés. Ainsi cette machine, qui est justement établie pour une production au moins égale à celle que nous avons supposée dans nos calculs, a une sécherie insuffisante. C'est bien l'avis des constructeurs.

Disons, à ce propos, qu'il vaut mieux augmenter la surface d'une sécherie en augmentant le nombre des sécheurs qu'en augmentant leur diamètre. Supposons, pour fixer les idées, qu'il faille doubler la surface utilisée d'une sécherie. On peut le faire, soit en doublant le diamètre des sécheurs, soit en doublant leur nombre.

Dans le premier cas, la surface *non utilisée* des fonds sera quadruplée, tandis qu'elle ne sera que doublée dans le second ; par conséquent la consommation de vapeur pour le même effet *utile* sera beaucoup moindre dans le deuxième cas.

A mesure que le papier se sèche, il se rétrécit. Pour lui conserver sa tension et éviter ainsi les cassés, les constructeurs ont établi des bascules mobiles que le papier place lui-même dans la position convenable.

Le placement des feutres sur les petits cylindres sécheurs se fait avec la plus grande facilité, parce que le bâti, au droit de ces cylindres, comporte une pièce rapportée qui se démonte aisément et promptement pour engager et dégager le feutre.

En résumé, la sécherie de cette machine présente de très-bonnes dispositions ; nous nous permettrons cependant une observation qui a bien son importance. La présence des engrenages tout près des sécheurs est un danger pour l'ouvrier qui reprend et engage la feuille ; il faut au moins que ces engrenages soient recouverts. Or, il nous a paru qu'il y a fort peu de place pour renfermer ces engrenages dans des tambours en tôle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la sortie des sécheurs se trouve un petit appareil aussi simple qu'utile se composant d'un bac en cuivre dans lequel arrive, par le moyen d'un robinet, un courant constant d'eau; un cylindre en cuivre plonge dans ce bac et communique à la feuille de papier, qui passe sur ce rouleau pour se rendre au dévidoir, un degré convenable d'humidité; le papier légèrement humecté après son séchage est privé ainsi de l'électricité dont l'avaient chargé les sécheurs, se prête mieux à l'apprêt, et enfin acquiert un léger excédant de poids, dont le profit revient de droit au fabricant. Ce rouleau humecteur a été installé pour la première fois par M. Hoesch, de Düren (Prusse rhénane).

Légende explicative de la sécherie.

A Tuyau d'arrivée de la vapeur.
B Robinet d'arrêt et de mise en marche de la sécherie.
C Boîte renfermant une soupape de sûreté.
D Caisse d'échappement de la soupape C.
E Tuyau conduisant la vapeur au sécheur G.
F Tuyau conduisant la vapeur aux sécheurs H et I.
K Tuyau de retour des sécheurs H et I, il alimente le sécheur L.
N Tuyau de retour du sécheur L, il alimente le sécheur M.
O Tuyau de retour du sécheur M, il alimente le sécheur P.
Q Tuyau de retour du sécheur P, il alimente le sécheur R.
Y Robinet servant à régler la sortie de l'eau de condensation, de façon à ce qu'il ne sorte que l'eau.
Z Sortie de l'eau de condensation.
S Tuyau de retour du sécheur G.
T Robinet à 3 eaux servant à faire communiquer le tuyau S soit avec le sécheur U, soit avec le sécheur P. Il permet d'employer 7 ou 8 sécheurs, suivant le cas.
X Tuyau de retour du sécheur V, il ne fonctionne que si le sécheur U est en communication avec le tuyau S.

Transmission de mouvement.

Nous signalerons trois particularités intéressantes de la transmission de mouvement établie par MM. Dautrebande et Thiry, sur la machine qu'ils ont exposée.

L'arbre de couche venant du moteur commande d'abord le *mouvement de va-et-vient* ou de secousse transversale de la table de fabrication. Ce mouvement est très-simplement établi et rappelle tout à fait la commande par disque ou par cônes de friction des essoreuses à force centrifuge. Un disque plan, monté sur un arbre établi d'équerre avec l'arbre de couche, tourne avec une vitesse qui ne dépend que de celle du moteur. Contre ce disque se trouve appuyée une roulette garnie de cuir, dont l'axe porte la petite manivelle ou l'excentrique qui, par l'intermédiaire d'une bielle, donne à la table un mouvement de va-et-vient. La roulette en question, tout en entraînant son arbre, peut glisser le long de cet arbre; un petit chariot à vis de rappel fixe la position de cette roulette sur le disque; en sorte qu'en éloignant cette roulette du centre du disque la rapidité de la secousse de la table augmente, tandis qu'en la rapprochant du centre on diminue, au contraire, la rapidité des oscillations. Nous n'avons vu aucune machine à papier munie de ce mécanisme si simple et si facile à régler, et qui permet d'obtenir toujours le feutrage convenable du papier; car la rapidité des oscillations de la table influe considérablement, toutes choses égales d'ailleurs, sur le feutrage.

Nous n'insisterons pas sur la nécessité de pouvoir faire varier, selon la fabrication, la vitesse de la machine à papier. Étant données la plus grande et la plus petite vitesse du papier, et par conséquent le minimum et le maximum de poids au mètre carré, il faut que la vitesse de la machine, c'est-à-dire celle de la première presse sèche (d'où se déduisent celles des autres organes), puisse passer par toutes les valeurs intermédiaires, si l'on veut que la machine à papier fonctionne également bien pour toutes les *sortes* à fabriquer. Or, il n'y a qu'un *seul* moyen de résoudre complètement ce problème, c'est d'établir le *changement de*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse au moyen de deux grandes *poulies-cônes* opposées, reliées par une courroie qui peut être déplacée le long de ces cônes et maintenue dans la position correspondante à la vitesse à obtenir à l'aide d'un guide-courroie au chariot mobile. C'est la solution la plus commode et par conséquent la meilleure. Mais elle exige de donner une assez grande vitesse aux arbres qui portent ces cônes, et elle nécessite l'emploi de poulies-cônes, longues et d'assez grands diamètres, pour que la courroie ne soit pas tendue outre mesure, n'ait qu'une faible largeur et puisse être facilement déplacée longitudinalement.

De là une dépense supplémentaire qui vient grever le prix de la machine. Aussi, plusieurs constructeurs se sont-ils contentés de relier l'arbre de couche venant du moteur à l'arbre général de commande de la machine à papier, par une série plus ou moins grande d'engrenages cylindriques; de telle façon qu'en mettant en relation telle ou telle paire de ces engrenages, et en faisant varier en même temps la vitesse du moteur, on obtient pour l'arbre général de commande la vitesse voulue. C'est précisément cette solution qu'ont employée MM. Dautrebande et Thiry, à l'aide de la disposition que nous reproduisons sur la planche 223 (fig. 5).

A est l'arbre de couche venant du moteur; B est un arbre intermédiaire creux, en fonte, et C est l'arbre principal de commande de la machine à papier.

L'arbre A porte trois roues dentées DEF qui peuvent être mises respectivement en prise avec les trois roues d, e, f, montées sur l'arbre B. Ce dernier arbre est muni de trois autres roues h, i, k, calées sur l'arbre C.

L'arbre creux B porte à l'extérieur deux vis, V et V', qui sont respectivement solidaires des deux groupes de roues dentées d, e, f et h, i, k. Ces roues glissent sur cet arbre dans un sens ou dans l'autre, selon que l'on tourne dans l'un ou l'autre sens les *écrous de rappel* des vis V et V'; ces écrous de rappel font corps avec deux manivelles m et m', munies des taquets ou *arrêts* t et t' qui servent à les fixer quand on a mis en prise les deux paires de roues correspondantes à la vitesse dont on a besoin. Tout ce mécanisme est fort bien établi et très-commode à manœuvrer; il permet pour une même vitesse de l'arbre A d'obtenir quelques vitesses différentes pour l'arbre C.

L'arbre C commande la première presse sèche à l'aide d'un arbre perpendiculaire et d'engrenages; les autres presses et la sécherie ne sont pas menées directement par engrenages; mais l'arbre perpendiculaire qui correspond à chacune de ces parties de la machine porte une poulie conique reliée par une courroie, munie d'un chariot-guide, à une autre poulie conique calée sur l'arbre qui mène chacune de ces parties de la machine à papier. Il y a donc autant de ces systèmes de poulies coniques qu'il y a de presses et de batteries de sécheurs. Il résulte de cette disposition qu'on peut régler la vitesse de l'une quelconque des parties de la machine indépendamment de celle des autres. Il y a donc là une très-grande commodité pour le conducteur, en même temps que toutes les mesures sont prises pour éviter les cassés.

Malgré les critiques de détail, d'ailleurs peu nombreuses, auxquelles nous nous sommes livré sur certains points, l'ensemble de la machine est bien entendu et ses diverses parties sont exécutées avec un soin qui fait le plus grand honneur à l'habileté des constructeurs. L'étude que nous en avons faite aura pour résultat, nous l'espérons du moins, d'appeler l'attention des fabricants de papier sur l'intelligence et le soin que MM. Dautrebande et Thiry ont apportés dans l'organisation de l'ensemble et jusque dans les moindres détails de la belle machine qu'ils ont exposée, et qui résume tous les perfectionnements qu'une longue pratique leur a suggérés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Varrall, Elwell et Poulot se sont contentés d'exposer le plan de l'une des machines à papier qu'ils construisent.

Cette machine comporte de vastes sabliers bien disposés, l'épurateur Ibotson, deux caisses Kaufmann, une batterie de six sécheurs et une lisse placée immédiatement à la suite de la sécherie. Une pompe horizontale sert à relever les eaux de la toile pour les réemployer.

La transmission de mouvement est établie dans une galerie située au-dessous du sol de la machine à papier. Cette transmission comporte un changement de vitesse à l'aide de cônes très-longs et d'une courroie maintenue en place par un guide dont la position se règle très-facilement.

Nous devons maintenant passer successivement en revue quelques-unes des parties de la machine à papier, qui ont été l'objet d'expositions spéciales.

Les constructeurs dont nous venons de parler en dernier lieu ont exposé un châssis d'épurateur en bronze, avec plaques de Watson, exécuté avec une grande perfection.

Il est fâcheux que l'épurateur Ibotson, dont cette maison exploite le brevet, n'ait figuré à l'Exposition que sur un tableau au lieu d'y figurer en nature.

On aurait pu se rendre compte plus facilement des avantages réels que présente ce système d'épurateur adopté déjà par plusieurs fabricants français et étrangers.

Les figures 6 et 7 de la planche 223 représentent cet épurateur.

Le but principal de l'épurateur Ibotson est : 1° de remplacer les grandes surfaces d'épuration, toujours si onéreuses, par un seul châssis disposé de telle sorte que les plaques en sont constamment nettes et peuvent épurer par jour 2,500 kil. de papier; 2° de supprimer le nettoyage des épurateurs, cause si fréquente de perte de pâte, et de papier de poids peu uniforme et mal épuré.

La pâte arrive par le tuyau A, passe comme d'habitude sur le sablier en suivant les différentes pentes indiquées par des flèches, et se rend à l'épurateur B qui est l'épurateur dont il s'agit. Les plaques sont légèrement inclinées vers une rigole C régnant dans toute la longueur du châssis et communiquant par quelques ouvertures avec un tuyau D placé en dessous. Il s'établit alors un courant qui, passant sur la surface d'épuration, entraîne toutes les impuretés et les précipite dans la rigole C. Ces impuretés et la pâte qui les entraîne se rendent dans le conduit E des eaux de la toile, et le tout repasse dans l'épurateur F qui ne laisse échapper que la pâte et les eaux collées, retenant à sa surface tous les corps étrangers. Les eaux et la pâte sont relevées par la roue à écopes G, et retournent à nouveau sur la machine par le tuyau H.

Il suffit donc de nettoyer, de temps à autre, l'épurateur F, ce qui se fait sans apporter le moindre trouble dans la marche du papier.

On prend généralement un vieil épurateur pour cet emploi, et l'unique dépense se borne au châssis double B, que l'on peut placer soit sur des bâtis en fonte, comme l'indique notre plan, soit dans des caisses d'épurateurs déjà existantes.

Ce système d'épuration peut aussi s'appliquer à d'anciennes machines, mais chacune exigera sans doute une installation particulière.

MM. Bryan Donkin et Cie, de Londres, ont exposé un épurateur dont la secousse est produite par un mouvement très-rapide d'oscillation d'un système ingénieux de leviers et de bielles; les trépidations parallèles, quoique nombreuses, sont d'une faible amplitude; cela nous fait craindre que l'épurateur ne s'engorge promptement. Les plaques de cet épurateur sont exécutées avec la plus grande perfection; elles peuvent se démonter et se remplacer très-promp-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tement; il suffit pour cela de serrer trois écrous. Ces plaques sont au nombre de quatre; les plaques du milieu présentent leurs fentes dans le sens transversal de la machine, et les deux plaques extrêmes sont munies de fentes longitudinales. Cette disposition nous a paru motivée sur ce que l'arrivée de la pâte se faisant en tête de l'épurateur et par la partie moyenne de sa largeur, les constructeurs ont voulu que les fentes des lames se présentassent dans une direction à peu près perpendiculaire à celles du courant moyen et des remous latéraux qui en sont la conséquence.

Des mêmes constructeurs, nous avons remarqué un rouleau égoutteur de grande largeur, muni de sa toile de *support*, d'une bonne construction.

Dans la section du Wurtemberg, MM. Vandel et Steinmayer, de Reuthingen, ont exposé un épurateur cylindrique rotatif, consistant en un cylindre de 0m.600 environ de diamètre et d'une longueur qui peut varier de 1 à 2 mètres, suivant la largeur de la machine à papier. Ce cylindre est garni d'une paroi en laiton dans laquelle sont pratiquées des rainures identiques à celles des épurateurs plans ordinaires; les rainures sont des portions de cercle et sont faites par conséquent dans des plans perpendiculaires à l'axe du cylindre. Cet épurateur fonctionne à la manière d'un ramasse-pâte, c'est-à-dire qu'il baigne dans un cuvier rectangulaire où arrive la pâte à fabriquer. Le cylindre tourne lentement sur lui-même en même temps qu'il est soumis à un rapide mouvement de secousse; la pâte convenablement travaillée passe par les fentes et est recueillie par des spirales qui la ramènent dans l'axe du cylindre, d'où elle s'écoule à chaque extrémité pour se rendre sur la table de fabrication. Les impuretés restent en partie dans le cuvier; celles qui s'attachent au cylindre sont relevées et détachées ensuite par l'eau qui s'écoule d'un tube pisseur établi parallèlement au cylindre; ces impuretés tombent dans une rigole qui les conduit à l'extérieur de la machine. Il aurait fallu voir fonctionner l'épurateur rotatif pour s'assurer si le nettoyage automatique s'opère bien réellement et uniformément comme les dispositions prises paraissent l'indiquer.

Coupeuses.

Dans les fabriques où l'on n'emploie pas une coupeuse mécanique pour couper le papier transversalement, la feuille, en quittant la sécherie, passe entre deux axes qui portent les couteaux circulaires qui coupent le papier en long et déterminent ainsi l'une des deux dimensions du format. De là, le papier s'enroule sur un dévidoir, d'où il est repris par l'ouvrier coupeur quand le dévidoir est suffisamment chargé.

Dans la machine à papier exposée par MM. Dautrebande et Thiry, les couteaux circulaires font partie de la coupeuse mécanique, et la sécherie est immédiatement suivie de dix dévidoirs disposés en tambour autour d'un axe dont les extrémités peuvent tourner dans deux chaises en fonte formant bâti. Le temps nous a manqué pour reproduire la disposition des dix dévidoirs; mais elle ne diffère en rien de celle qui est indiquée sur la planche 241 (fig. 1) et dans laquelle le porte-dévidoirs n'en comporte que huit. Nous n'insisterons pas sur les détails de construction de cette partie de la machine. Considérons en particulier le dévidoir qui reçoit en ce moment le papier venant de la machine; à mesure que son diamètre augmente, il faut que sa vitesse angulaire diminue, puisque la vitesse de la feuille sortant de la sécherie est constante. La transmission de mouvement au dévidoir doit donc être disposée en vue de cette condition. Si l'on imitait à cet égard ce qui se fait dans les métiers à filer, on compliquerait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

beaucoup le mécanisme; mais, d'un autre côté, en transmettant le mouvement au dévidoir à l'aide d'organes non rigides, entre lesquels s'opère un déplacement ou glissement relatif qui doit être d'autant plus grand que le dévidoir se charge davantage de papier, on n'obtient qu'une solution approximative, comme cela a lieu dans la machine exposée. Le serrage de la feuille sur le dévidoir n'est pas régulier; il nous paraît bien préférable d'établir un rouleau-bascule entre le dernier sécheur et le porte-dévidoirs; cette addition très-simple éviterait toute espèce d'inconvénients dans l'enroulage du papier sur les dévidoirs. Ceux-ci peuvent être légèrement déplacés transversalement, à l'aide d'un arbre fileté, de façon à donner la même largeur aux deux rognures que détachent les couteaux circulaires extrêmes de la coupeuse.

L'axe de chaque dévidoir porte, à l'une de ses extrémités, une poulie à rebords A; sur ces poulies passe une lanière B attachée par un bout à un point fixe C et chargée à l'autre bout d'un poids qui détermine la tension de la lanière; cette lanière oppose une certaine résistance à la rotation des dévidoirs qui alimentent la coupeuse, et détermine par conséquent une tension suffisante des feuilles qui sont *appelées* par les cylindres alimentaires de la coupeuse.

En sortant des cylindres alimentaires D D, les feuilles de papier sont coupées en long par les couteaux circulaires E E, qui les livrent, par l'intermédiaire des rouleaux F et H, au couteau transversal I. La lame supérieure de ce couteau est fixe, et la lame inférieure s'élève et s'abaisse par le mouvement d'un excentrique. Quand le papier est coupé, il se trouve placé sur une table M presque verticale; la mise en place du papier sur cette table se fait automatiquement à l'aide de deux rouleaux qui s'abaissent et s'élèvent après chaque action du couteau. Ce mécanisme est très-ingénieusement conçu.

La longueur du format se règle par la rotation des cylindres alimentaires ou cylindres d'*appel* D D. Ceux-ci doivent donc avoir, entre deux actions consécutives du couteau I, un mouvement dont l'étendue doit varier avec la longueur du format. Ce mouvement est réglé par celui d'une bielle à course variable qui agit sur un encliquetage établi sur l'axe de l'un des cylindres alimentaires. Ce mécanisme est bien combiné et permet de régler avec beaucoup de précision la longueur du format.

Cette coupeuse occupe peu de place, et, au dire des fabricants qui en font usage, et parmi lesquels nous citerons MM. Dambricourt frères, à Saint-Omer, et MM. Lhoest-Lammens, à Maestricht, son fonctionnement ne laisse rien à désirer.

M. Ch. Washer, de Vilvorde (Belgique), a envoyé à l'Exposition une coupeuse en long et en large qui présente de bonnes dispositions et peut couper cinq à six feuilles à la fois. Le papier est placé sur des dévidoirs amovibles qui peuvent s'enlever quand ils sont vides et être promptement remplacés par d'autres.

Le papier est appelé par une paire de rouleaux alimentaires; entre les dévidoirs et ces rouleaux se trouvent les couteaux circulaires qui coupent le papier en long. Les rouleaux l'amènent sur une table en fonte d'environ 0m.120 de largeur, sur laquelle il est maintenu par une presse mobile alternativement relevée et abaissée par le mouvement même du couteau transversal. Ce couteau, contourné en hélice très-allongée, rencontre une contre-lame fixe attachée à la lame en fonte et légèrement inclinée, de façon à bien présenter son tranchant contre lequel passe le couteau en coupant le papier.

La longueur du format est réglée par le mouvement des rouleaux d'appel qui s'arrêtent quand la presse mobile descend. Le rouleau inférieur reçoit son mouvement par l'intermédiaire d'un pignon droit calé sur son axe et qui est commandé par un grand secteur circulaire denté, monté sur l'axe d'une grande roue à rochets. L'encliquetage de cette roue est mis en mouvement par une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bielle qui reçoit un mouvement de va-et-vient alternatif d'une manivelle à course variable montée sur l'arbre moteur principal de la machine. Le papier coupé tombe sur un feutre sans fin incliné, qui le conduit sur la table devant l'ouvrier qui l'enlève.

Cette coupeuse travaille dans plusieurs papeteries d'Angoulême, d'où elle a été importée en Belgique et perfectionnée par M. Laroche, directeur de l'atelier de construction de M. Washer. Les fabricants belges qui l'emploient en sont assez satisfaits.

A côté de la pile dont nous avons parlé, M. Alex. Verny a exposé une machine à couper le papier, exécutée conformément aux perfectionnements que sa longue pratique lui a suggérés. (Voir pl. 241, fig. 2 et 3.)

En tête de la machine, c'est-à-dire du côté de l'arrivée du papier, se trouve placé le porte-dévidoirs, dont le bâti est boulonné contre l'extrémité *a b* de celui de la coupeuse, muni, à cet effet, de *contacts* dressés. En quittant les dévidoirs, le papier passe entre les couteaux circulaires *c c*, dont les supports sont fixés sur le bâti.

La machine est commandée par un arbre *d* reposant sur deux chaises d'applique *f*, venues de fonte chacune avec un palier; ces chaises sont boulonnées aux montants du bâti. L'arbre *d* porte : 1° une poulie *g* extérieure au bâti et qui mène les couteaux circulaires; 2° un cône *h* calé sur ledit arbre. Ce cône a 1m.65 de longueur et ses diamètres extrêmes sont respectivement 0m.300 et 0m.570.

En sortant des couteaux circulaires, le papier est conduit par une toile sans fin *i*, qui passe sur deux rouleaux-guides en bois *k l*, et sur un rouleau de tension *m* également en bois.

Le rouleau de tête *k* sert aussi de rouleau de tension, puisque ses tourillons sont reçus dans deux supports *n* à crémaillère. Les tourillons du rouleau *l* sont reçus dans deux bossages venus de fonte avec les glissières supérieures du chariot. La position du rouleau de tension *m* se règle à l'aide de deux vis de rappel dont les supports sont boulonnés sous le bâti.

Le feutre sans fin *i* est mis en mouvement, ainsi que le papier, à l'aide d'un chariot mobile formé, comme pièces principales, de deux presses en fonte Q et Q'. La presse inférieure Q' se meut dans des glissières rabotées; les coulisseaux de cette presse sont garnis en dessus et en dessous de plaques de frottement en bronze. Les glissières inférieures *p'* sont venues de fonte avec le bâti; les glissières supérieures *p* sont rapportées et boulonnées sur les supports à crémaillère *n* et sur les extrémités de la table *o'* de la presse fixe contiguë au couteau.

A chaque extrémité de la presse Q est boulonnée une pièce en fonte *r*; cette pièce *r* est elle-même boulonnée avec une pièce en fonte *s* qui forme une sorte de coulisse dans laquelle est fixé un prisonnier G creux en acier, serré par un écrou et un contre-écrou; ce prisonnier est traversé par un axe en fer muni d'une embase et d'une portée sur laquelle est calée une petite manivelle; sur l'axe en fer est clavetée une tête de bielle *z* dont les oscillations sont transmises à la petite manivelle dont le manneton agit sous une règle en acier; les oscillations de cette règle sont transmises à une sorte de bielle verticale *a'* filetée et fixée à une douille venue de fonte avec la presse supérieure Q.

Le chariot formé par les presses Q et Q' est mis en mouvement à l'aide des bielles *z* qui sont attachées à deux manivelles en fonte H calées aux deux extrémités d'un arbre F. La course du chariot mobile peut varier en déplaçant les deux mannetons dans les coulisses des manivelles H, à l'aide de deux vis de rappel. Cette course se règle d'après la longueur du format à obtenir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand le chariot est à l'extrémité de sa course, du côté du rouleau de tête K, les manivelles H sont au point mort; à ce moment, la presse supérieure Q est descendue sur la presse Q', et le papier ainsi que le feutre sans fin *i* sont serrés entre deux presses. Le chariot commence alors à mener le papier et le feutre *i* vers la queue de la machine, et la presse supérieure Q ne commence à se soulever qu'à partir de l'instant où le chariot est parvenu à l'extrémité de sa course, du côté du rouleau *l*; alors le chariot abandonne le papier et le feutre *i*, et retourne vers la tête de la machine.

Pendant que les manivelles H décrivent la demi-circonférence inférieure de leur révolution, la came en fonte I, calée à l'extrémité de l'arbre F, soulève le levier L; ce levier est calé sur l'arbre K qu'il fait osciller. L'arbre K porte les deux bras M du couteau mobile; ces bras sont venus de fonte avec deux prolongements portant des contre-poids en fonte P, et avec deux bras d'équerre N, auxquels sont attachés deux courroies en cuir dont les autres extrémités sont fixées à la partie supérieure mobile O de la presse fixe. Ces courroies passent sur deux galets de renvoi *d'*, dont les axes sont forgés avec deux douilles en fer fixées sur deux guides verticaux *f'*, boulonnés sur la table inférieure O' de la presse fixe.

Quand la came I agit sous le levier L, elle fait basculer le couteau mobile en même temps qu'elle fait descendre sur le papier la partie supérieure O de la presse fixe; le papier se trouve donc *pressé* au moment où le couteau mobile commence son action. La face inclinée de la table inférieure O' de la presse fixe porte un couteau fixe; comme les deux bras M du couteau mobile ne sont pas situés dans le même plan, les deux couteaux agissent à la façon d'une paire de ciseaux.

L'action de la came I sous le levier L dure un quart de tour; quand cette action cesse, les contre-poids P relèvent le couteau mobile et la partie supérieure O de la presse fixe. Les bras M du couteau mobile sont reliés entre eux par une entretoise *g'* en fer méplat. Cette entretoise est consolidée par un bras en fonte *h'* calé sur l'arbre K.

Le mouvement de rotation de l'arbre F est obtenu à l'aide d'une roue droite V que commande un pignon à débrayage C, monté sur l'arbre A. L'arbre A porte un grand cône *k' fou* sur cet arbre; ce cône a les mêmes dimensions que le cône *h* calé sur l'arbre de commande *d*; les moyeux du cône *k'* sont garnis de bronze, l'un de ces moyeux est venu de fonte avec une moitié de manchon d'embrayage, dont l'autre moitié est fondue avec le pignon G. A son extrémité opposée au pignon G, l'arbre A est muni d'un volant calé en porte-à-faux. Ce volant est destiné à assurer une régularité suffisante au mouvement de rotation de l'arbre F; cette régularité est, de plus, assurée à l'aide d'un contre-poids fondu avec la jante de la roue dentée U, et qui fait équilibre aux deux manivelles H.

L'extrémité de l'arbre A contiguë au pignon C est reçue dans un palier fixé sur une chaise en fonte; l'autre extrémité a son palier fixé sur une chaise en fonte, boulonnée contre l'un des montants du bâti.

Le papier coupé tombe sur un petit feutre conducteur *m'*, qui passe sur deux rouleaux en bois *n'* et *r'*; le rouleau *r'* est monté sur deux écrous mobiles actionnés par deux vis de rappel montées sur deux chaises à console boulonnées contre deux des montants du bâti. Le mouvement du feutre *m'* est déterminé par la rotation du rouleau *n'*; celui-ci est commandé par une courroie croisée qui passe sur une poulie calée sur l'arbre A.

Les deux cônes *h* et *k'* sont reliés par une courroie de 0m.120 de largeur, dont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la position variable, suivant la vitesse à donner à la machine, sera fixée par un guide-courroie.

Ce guide-courroie est muni d'une seule fourchette agissant sur le brin-*conduit*.

Pour que la machine puisse couper les grands formats, sans qu'il soit nécessaire d'avoir un bâti très-long et un rayon très-grand pour les manivelles H, M. Verny a imaginé une disposition par laquelle le couteau n'agit qu'une fois pendant deux tours de l'arbre F, c'est-à-dire pour deux courses *doubles* du chariot mobile. Cette disposition consiste à établir un arbre R relié à l'arbre à l'aide de trois roues d'engrenages, dont celle du milieu est calée sur un arbre intermédiaire S.

L'arbre R porte une came T qui agit sous le levier L, absolument comme la came I de l'arbre F ; seulement l'arbre R ne fait qu'un tour contre deux de l'arbre F. Quand on a besoin de se servir de la came T, il faut que la came I ne puisse agir sous ce levier L. A cet effet, on fait glisser ladite came I sur son arbre, de façon à amener sa partie I' sous le levier L'. Cette partie I', bien moins saillante que la partie I, suffit pour déterminer la descente de la partie supérieure O de la presse fixe, après chaque double course du chariot conducteur du papier. Quand l'emploi de la came T est inutile, on fait glisser sur l'arbre S le pignon calé sur ledit arbre, et qui relie les roues respectivement calées sur les arbres R et F.

Cette machine présente d'excellentes dispositions et fonctionne très-bien ; ce qui la caractérise et la distingue, par conséquent, des autres coupeuses à papier, c'est le mouvement double de va-et-vient, de montée et de descente de la presse mobile qui détermine la longueur du format. Cette disposition évite les *fronces*, et permet d'arriver, pour chaque feuille, exactement au format voulu.

Pour terminer la revue des machines exposées, il ne nous reste plus qu'à dire quelques mots des machines à satiner le papier et de quelques machines spéciales pour le rognage du papier, la fabrication des enveloppes et la réglure.

Nous avons remarqué dans l'exposition de MM. Bryan Donkin et Cie une satineuse à papier, dans laquelle le serrage s'opère sur le cylindre supérieur au moyen de vis verticales; elle est munie d'un mécanisme qui repousse le paquet, après son passage sous les cylindres, de telle sorte qu'il suffit d'un ouvrier pour l'alimenter.

Nous signalerons encore la puissante lisse exposée par MM. Théodore et Frédéric Bell, constructeurs mécaniciens à Lucerne (Suisse). Les cylindres ont 0m.600 de diamètre et 1 mètre de longueur de table; la pression est donnée par le cylindre supérieur sur lequel agissent des leviers portant des poids; la table d'arrière est munie de rouleaux pour faciliter la sortie du papier et sa descente dans le mouvement de retour. Le mouvement est donné au cylindre inférieur qui le transmet à l'autre au moyen de deux paires d'engrenages cylindriques à dents en développantes très-allongées.

Cette machine est puissante et exécutée avec beaucoup de soin ; les dimensions de ses engrenages sont telles qu'ils pourraient facilement transmettre une puissance de 10 à 15 chevaux.

Les constructeurs de rogneuses ne nous ont révélé aucune modification importante dans les dispositions de leurs apppareils, si ce n'est dans la rogneuse exposée par M. Briard, destinée exclusivement au façonnage des petits formats d'écriture et à lettre; la presse qui maintient le paquet à rogner repose sur une plaque tournante fixée sur la table, et permet de présenter alternativement au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

couteau-guillotine les trois côtés du paquet à rogner; la plaque se présente toujours en parfait équerre sous le couteau et reste fixée à sa place par un encliquetage, de telle sorte que l'ouvrier, sans déranger le papier, coupera toujours avec une grande régularité les trois côtés de son paquet.

Nous avons trouvé cette rogneuse très-pratique pour le façonnage des papiers à lettres.

M. Lecocq, mécanicien à Paris, a exposé plusieurs machines et coupeuses à rogner le papier. Nous y avons remarqué que le mouvement de glissement transversal du couteau est obtenu au moyen d'une crémaillère courbe, sur laquelle agit un secteur denté; le couteau glisse sur un plan incliné, et l'extrémité opposée à celle qui porte la crémaillère s'appuie contre un galet de grand diamètre.

Cette disposition est très-bonne et exige une puissance moindre que la coupeuse Poirier, dans laquelle le mouvement transversal est obtenu au moyen d'une bielle attachée à un point fixe du bâti, et qui oscille autour de ce point quand le couteau monte ou descend. L'effort oblique transmis par cette bielle donne lieu à une pression considérable sur les guides du couteau.

Plusieurs machines à fabriquer les enveloppes fonctionnaient dans la galerie des machines. Nous y avons remarqué celle de M. Antoine, très-simplifiée, ce qui, à production égale, peut être considéré comme un progrès; car jusqu'ici le mécanisme si compliqué des machines à enveloppes, leur entretien et leurs réparations ont toujours fait préférer les simples plioirs à pied, produisant presque autant que les machines, tout en étant d'un prix et d'un entretien bien moindres.

La maison Robineau et Roumestant a exposé une machine à enveloppes devant en produire 25,000 par jour, d'un système très-ingénieux, mais par cela même compliqué et devant se déranger facilement.

Nous avons encore à signaler une machine à imprimer en taille-douce, exposée par MM. Godchaux, éditeurs à Paris. Cette machine imprime sur papier continu, à l'aide de deux cylindres en cuivre gravés, des cahiers d'écoliers; le papier est appelé, après son impression sur les deux côtés, sur une coupeuse très-simple qui consiste, comme partie essentielle, en un cylindre qui porte la lame animée d'un mouvement de rotation. Cette machine pourrait être facilement appropriée aux besoins des fabricants de papier, pour la réglure des papiers d'écoliers et même pour le filigranage et le gaufrage des papiers de luxe. En raison des changements de cylindres gravés pour chaque genre de réglure, le prix de la machine serait élevé, il est vrai; mais pour de très-grandes productions et à l'aide de quelques modifications économiques qu'il serait facile de faire, nous croyons qu'une régleuse de ce genre trouverait sa place dans de grandes papeteries.

L. VIGREUX,
Ingénieur civil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXVIII

LA FONDERIE EN CARACTÈRES.

FONTE DES LETTRES. — STÉRÉOTYPIE. — PRISE D'EMPREINTE. CLICHÉS. — GALVANOPLASTIE.

PAR M. **A. JEUNESSE,**

Secrétaire de la rédaction des *Annales du Génie civil.*

Nous n'avons rien à dire sur l'origine de la fonderie en caractères, car elle se confond dans l'origine de l'imprimerie elle-même, ou, pour parler plus exactement, elle constitue elle-même l'invention de l'imprimerie. Nous pourrions donc nous borner à prier le lecteur de se reporter à notre *Étude sur l'imprimerie et les livres*, dont celle-ci est le complément, mais nous croyons cependant devoir ajouter quelques détails.

Le *Catholicon*, qu'on attribue à Gutenberg, porte pour souscription : « Avec l'assistance du Tout-Puissant qui, par un signe, rend les enfants éloquents et leur révèle souvent ce qu'il cache aux doctes, ce livre insigne le *Catholicon*, fut achevé d'imprimer en 1460, à Mayence, ville de l'illustre Germania (que Dieu dans sa clémence daigna élever au-dessus des autres nations par le don gratuit d'un telle production du génie humain). Ce livre n'a été fait ni à l'aide du roseau, du stylet ou de la plume, *mais par l'accord merveilleux dans les rapports et la grosseur des lettres au moyen de poinçons et de matrices.* »

Gutenberg proclame donc lui-même que c'est dans la fonte des lettres que gît le mérite de l'invention, et les efforts pour parvenir à « l'accord merveilleux dans les rapports et la grosseur des lettres » ont dû être longs et coûteux, car, dans le procès que Gutenberg dut soutenir contre ses premiers associés, nous voyons figurer comme témoin l'orfévre Dunn, qui déclare avoir gagné de Gutenberg, depuis trois ans environ, près de cent florins, « pour les choses qui appartiennent à l'imprimerie. »

Le procès ayant eu lieu en 1439, cette déposition nous apprend que Gutenberg faisait des tentatives dès 1437, et qu'un orfévre a travaillé pendant trois ans aux choses qui concernent l'imprimerie. La sentence portant d'un autre côté qu'un des associés « s'était fait garant de côté et d'autre pour du *plomb* et autres choses qu'il (Gutenberg) aurait achetés et qui *étaient nécessaires à ce métier*, » nous pouvons en induire que c'est l'orfévre Dunn qui s'occupait de la fonte des caractères, et que les lettres employées étaient en plomb, ou que du moins du plomb entrait dans leur confection. Mais la fonte, en prenant ce mot dans sa véritable acception au point de vue de l'imprimerie, ne date que de Schaeffer, un des ouvriers associés de Gutenberg, qui, dit Trithème, trouva une manière *plus aisée* de fondre les caractères. « Cet homme, d'un esprit pénétrant, dit Arnold de Bergel, inventa des moules auxquels la postérité donna le nom de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

matrices. Il fut le premier qui fondit dans l'airain (ou cuivre) ces signes de la parole, les lettres que l'on pouvait réunir en combinaisons indéfinies. »

C'est au moyen du poinçon en acier, de la matrice frappée en cuivre et du moule à la main, reproduisant indéfiniment et promptement les lettres identiques au poinçon, que Schaeffer obtenait ses caractères. C'est de la même manière qu'on a continué à procéder partout pendant plus de trois siècles, et c'est encore de la même manière que l'on procède aujourd'hui pour le *moulage à la main*.

Nous n'avons pas à entrer ici dans des détails sur la gravure des caractères et l'obtention des matrices : ce n'est que de la fonderie, de la formation des lettres que nous devons nous préoccuper. Entrons donc dans un atelier.

Autour d'un fourneau de forme circulaire sont rangés six hommes, debout, la jambe droite en avant; chacun de ces hommes tient de la main gauche un moule; de la main droite il va, avec une petite cuiller, puiser dans un des compartiments du fourneau du métal en fusion; il abaisse la main gauche pendant qu'il verse le métal dans le moule; puis, relevant brusquement la main, il fait avec le corps un mouvement comme s'il voulait s'élancer pour sauter, et, revenu à sa position primitive, il ouvre le moule et fait tomber la lettre sur un marbre placé à côté de lui. Le spectacle de ces six hommes exécutant à peu près simultanément et en mesure ce même balancement de corps, est des plus étranges, lorsqu'on le voit pour la première fois. On dirait que leurs mouvements sont subordonnés à un rhythme intérieur, ou plutôt on se figure qu'ils sont atteints de quelque maladie mystérieuse, comme la danse de Saint-Guy, ou qu'ils ont été piqués par la tarentule, qui fait danser les moutons dans les environs de Naples.

Ce mouvement brusque a pour but d'accélérer la chute du métal jusqu'à la matrice qui porte en creux la forme de la lettre. Si la matière était coulée simplement, par son contact avec le fer, elle pourrait se figer à la superficie du moule ou donnerait des caractères sans netteté.

Le moule est composé de deux pièces à peu près semblables, l'une dite du dessus, l'autre du dessous; la matrice se place à l'une des extrémités; en appliquant l'une sur l'autre les deux parties du moule, il reste un vide, et c'est dans ce vide que le métal est versé.

Avant de dire ce que devient la lettre qui vient de tomber du moule, arrêtons-nous d'abord un moment sur la composition du métal en fusion, ensuite sur les modifications qui ont été introduites dans l'opération de la fonte.

Cette composition a été souvent modifiée : dans le seizième siècle, chaque fondeur ou, pour mieux dire, chaque imprimeur, avait la sienne; à une époque où l'alchimie était en honneur, il y avait naturellement des alliages mystérieux, — et si tel imprimeur avait des caractères plus nets, ayant une plus longue durée que ceux de ses émules, il se trouvait toujours parmi ces derniers quelque confrère charitable qui insinuait que les pratiques de la Khabale n'étaient pas étrangères à cette supériorité.

L'alliage ordinairement employé consistait en potin (espèce de laiton fort impur), fer et sulfure d'antimoine.

Fournier jeune contribua à l'amélioration de l'alliage, en établissant une fabrique qui donna de l'antimoine débarrassé de ses impuretés.

M. Didot introduisit 1 partie de cuivre sur 9 d'étain et sur 100 d'alliage. M. Laboulaye augmenta proportionnellement le cuivre, en en mettant 1 partie sur 6 d'étain et 100 de métal à caractères.

En Angleterre, la *Type founding Company*, renommée pour la durée de ses caractères, emploie deux alliages différents : pour les impressions ordinaires,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ses alliages sont composés de 50 parties de plomb, 25 d'étain et 25 d'antimoine ; pour les caractères qui doivent servir à l'impression des journaux et des publications à grand tirage, les proportions sont de 3 parties d'étain pour 1 d'antimoine.

Les modifications qui ont été apportées sont d'abord l'adoption du moule américain, qui consiste dans l'adjonction d'un petit levier coudé. Dans ce système, la fonte se réduit à entre-bâiller le moule qui reçoit la matière et laisse retomber la lettre.

Ce moule a permis de porter à 6,000 la fonte *par jour*, qui, avec le système ordinaire, n'était que de 4,000 par jour et par ouvrier. Un autre perfectionnement, dû aux Américains, est l'introduction d'une pompe formée par une capacité cylindrique placée au milieu du vase qui renferme le métal fondu. Un piston percé d'un trou envoie le métal dans la matrice. Les Allemands se sont emparés de ce système et y ont introduit des améliorations dont le détail nous entraînerait trop loin.

La fonderie à la mécanique a été un autre progrès.

A l'Exposition de Londres figurait une machine de M. Besley, consistant en deux parties, comme dans l'ancien moule à la main ; ce moule est placé devant une pompe dont il reçoit le métal à l'aide d'un jet, comme dans le système dont nous venons de parler. Depuis, il y a eu des perfectionnements dans cette machine. Voici comment M. Laboulaye, que nous invoquons comme une autorité dans les questions se rapportant à la fonderie en caractères, décrit les plus récents : « Le perfectionnement consiste essentiellement à former le moule d'une entaille à faces parallèles, pratiquées dans une barre prismatique, entaille ayant en largeur exactement la force du corps des caractères à fondre. Dans cette entaille se meut à frottement doux un piston rectangulaire qui la remplit exactement, de telle sorte que, selon la hauteur à laquelle il sera fixé, il restera entre la pièce de recouvrement qui est appliquée sur la partie supérieure de la barre prismatique et l'extrémité du piston, un vide égal au volume d'une des lettres des caractères à fondre. »

On voit que ce système donne une identité absolue de force de corps à toutes les lettres, et permet de les faire sortir de l'entaille sans jamais les fausser, en soulevant la pièce allongée sur laquelle elles reposent.

Revenons maintenant à la lettre que nous avons vue tomber du moule. Elle doit encore subir diverses opérations. Elle doit passer à la *romperie*, c'est-à-dire qu'on doit rompre le petit bout de métal qui y est resté adhérent lorsqu'elle est sortie du moule ; elle doit être *frottée* sur une pierre de grès ; plusieurs lettres doivent subir la *crénerie*, une espèce d'évidage ; en effet, la tête de l'f, par exemple, doit pouvoir s'avancer sur la lettre qui la suit, mais cette combinaison ne pourrait s'effectuer si la lettre qui suit a également une tête comme l'i, ou l'l ; c'est pour ce motif qu'on a dû fondre des lettres doubles, comme fi, fl, et même triples, comme ffl, pour éviter l'effet disgracieux que produiraient les lettres ordinaires simples placées l'une à côté de l'autre, f i, f l, f f l.

Restent encore trois opérations : les lettres doivent être *composées*, c'est-à-dire rangées dans un composteur ; elles doivent passer au *coupoir* qui les égalise, et, enfin, elles doivent subir l'*apprêt*, nous pourrions dire la *toilette* de la lettre.

On comprend que pendant les premiers siècles de l'imprimerie aucune règle n'ait été observée. Chaque imprimeur créait des lettres à sa convenance, non-seulement pour le type qu'il voulait adopter, mais pour la hauteur des lettres et pour la force de corps ou épaisseur des caractères.

Quant aux types, l'inconvénient n'était pas grand : les imprimeurs-artistes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pouvaient obéir aux inspirations de leur génie créateur[1] et doter par exemple, comme Alde, l'art typographique du caractère penché appelé italique, ou *aldino*[2].

Il n'en était pas de même pour la hauteur des lettres : le défaut d'uniformité empêchait l'emploi dans une imprimerie de caractères en usage dans une autre, à moins de faire subir aux presses des modifications qui nuisaient à la netteté du tirage. Le défaut de règle pour la force du corps empêchait toute espèce de calcul et rendait fort difficiles les achats et la vente des caractères, puisqu'on n'avait aucune règle d'appréciation fixe et déterminée.

Fournier, dont le nom se rattache à un grand nombre d'améliorations, eut le premier l'idée d'établir une base qui permît de mettre un peu d'ordre dans tous ces caractères aux dénominations parfois bizarres et de forces de corps différentes.

Le caractère le plus petit usité de son temps était la nonpareille, et comme pour les poids et mesures on employait généralement le système duodécimal, il divisa l'œil de la lettre nonpareille en six parties : une de ces parties (1/6e de la nonpareille) constitua le point typographique et put servir de base pour mesurer la force de corps de tous les autres caractères. Pour arriver à un mesurage exact, Fournier créa un *prototype* formé d'une équerre adaptée sur une surface plate : la longueur du grand côté du prototype était de 240 points.

François-Ambroise Didot perfectionna l'idée de Fournier en faisant dériver le point typographique des mesures ordinaires. La base qu'il adopta sert encore aujourd'hui de règle à tous les fondeurs français.

« La ligne de pied de roi divisée en six *mètres* ou mesures égales servit à graduer et à dénommer les différents caractères. Le plus petit[3], qui a les 6 mètres complets, ou la ligne de pied de roi, se nomme le six; celui qui le suit immédiatement est le sept, composé d'une ligne et d'un *mètre* de plus. Le *huit*,

1. Les premiers livres imprimés le furent en caractères ressemblant à l'écriture du temps, dite demi-gothique; en 1471, la gothique pure était employée à Strasbourg, et, comme le dit M. Philarète Chasles, l'Allemagne avait imité avec scrupule les pointes et les angles aigus de ce caractère gothique qui semble avoir introduit dans l'écriture les caprices de l'architecture ogivale.

Dès les débuts de l'imprimerie, on employa en Italie le caractère romain, qui fut généralement adopté en France. Cependant, plus tard, plusieurs imprimeries revinrent aux caractères gothiques; mais cette mode ne prévalut pas longtemps.

2. Le modèle de ce caractère fut donné à Aldus Pius Romanus, par l'écriture même de Pétrarque.

On peut aussi considérer Alde comme le promoteur de la typographie grecque. Les premiers imprimeurs n'avaient pas de caractères grecs ; quand ils rencontraient quelques mots de cette langue dans les ouvrages qu'ils imprimaient ils laissaient des *espaces en blanc pour écrire ces mots à la main*.

Cependant, comme le fait remarquer M. Dupont dans son *Histoire de l'Imprimerie*, Pierre Schaeffer, dans son édition des *Offices* de Cicéron (1466), avait imprimé plusieurs mots en caractères grecs mobiles, mais gravés seulement, et il y avait eu aussi avant Alde quelques livres imprimés en caractères grecs, dont le premier est une grammaire imprimée en 1476, par Denis Paravisinus.

3. Depuis, on a fondu des caractères ayant *moins de six points*. Nous citons plus loin la perle de 4 points, le diamant de 5. M. Henri Didot s'est servi de caractères de deux points et demi pour un *Larochefoucault* et un *Horace;* M. de Berny a employé également des deux points et demi pour une *Imitation*, et un deux points trois quarts pour un *Gresset*. Ce sont là, il faut bien le dire, des tours de force.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le *neuf*, le *dix*, le *onze*, le *douze* augmentent également de grosseur et par des mesures aussi précises. »

Nous reproduisons le nom des caractères tels qu'ils étaient désignés avant l'adoption du point typographique et tels qu'on les désigne encore dans quelques provinces. Nous mettons en regard leur valeur en points typographiques, et nous avons ajouté à la nomenclature le *diamant* et la *perle*.

Perle	4	points.	Gros texte	14	points.
Diamant	5	—	Gros romain	16	—
Nonpareille	6	—	Petit parangon	18	—
Mignonne	7	—	Gros parangon	20	—
Petit texte	7 1/2	—	Palestine	22	—
Gaillarde	8	—	Petit canon	26	—
Petit romain	9	—	Trismégiste	32	—
Philosophie	10	—	Gros canon	40	—
Cicéro [1]	11	—	Double canon	52	—
Saint-Augustin [2]	12	—	Triple canon	66	—

Outre ces caractères, il y a encore du 6 1/2, du 8 1/2, etc. « Innovation fâcheuse, — dirons-nous avec M. Ambroise Firmin Didot, — à laquelle ont été entraînés les imprimeurs et fondeurs par les exigences de la mode et le caprice du jour. La différence entre la force du corps des caractères, qui était suffisamment sensible pour pouvoir les faire distinguer aisément les uns des autres à l'œil et au toucher lorsqu'ils procédaient par points typographiques, ne l'est plus assez pour que l'ouvrier compositeur ne soit pas exposé à les confondre les uns avec les autres. Or, dans tant de millions de lettres qui existent dans la moindre imprimerie, il en résulte de graves inconvénients. »

Nous ferons la même observation pour les caractères gros œil, petit œil, c'est-à-dire pour les caractères dont l'œil ne correspond pas à la force de corps. Ce sont là des innovations qui n'ont aucune raison d'être, et qui rappellent involontairement la chauve-souris du fabuliste : Voyez mon œil je suis du *neuf*, voyez mon corps je suis du *huit*.

Le système de points typographiques eut pour l'imprimerie une utilité incontestable, « pour la coïncidence des types, la précision, la justesse et la célérité des travaux. » (Paul Dupont.)

Au prototype de Fournier qui avait pour le grand côté une longueur de 240 points, Didot substitua le *typomètre*, encore en usage, qui en a 288, nombre heureusement choisi, puisqu'il est exactement divisible par 2, par 3, par 4, par 6, par 8, par 12, par 16, par 18, par 24, par 32, par 36, par 48, etc.

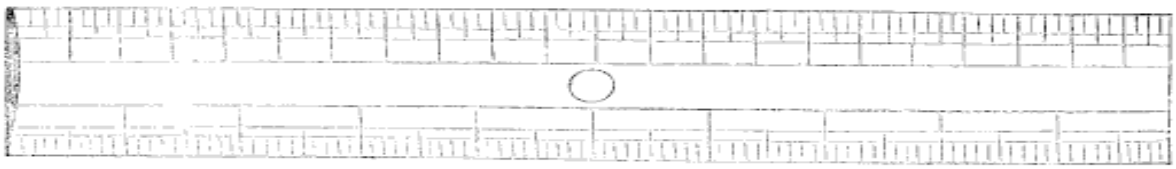


Fig. 1. — Le typomètre.

Revenons encore à nos lettres ; elles n'ont pas dû être fondues en nombre égal, car dans chaque langue il y a des lettres qui se répètent bien plus souvent

1. Ainsi nommé parce que ce caractère avait servi à Rome pour la première fois à l'impression des *Épîtres* du grand orateur romain.

2. Caractères employés pour la première fois pour l'impression, à Rome, de la *Cité de Dieu*, de l'évêque d'Hippone.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que d'autres. Il a fallu de longues recherches et de nombreux tâtonnements pour arriver à déterminer les proportions dans lesquelles chaque lettre doit entrer dans une *police*, — c'est le nom d'un ensemble de caractères.

Une police de 100,000 lettres pour des ouvrages courants en français sera ainsi subdivisée :

Lettres *bas de casse*, ainsi nommées parce que ce sont les lettres ordinaires qui se placent dans le bas de la casse.	70,500
Doubles (fi, ff, ffl, etc.)	1,650
Accents (à, è, ù, etc.)	4,150
Ponctuations (, ; ! etc.)	7,500
Grandes capitales (A, B, etc)	8,000
Petites capitales (A, B, etc.)	5,000
Chiffres (1, 2, etc.)	3,200
Total	100,000

Nous avons dit que c'est là la police d'un ouvrage courant; il est évident que pour les ouvrages scientifiques, pour les ouvrages qui renferment des formules et des calculs, il faut d'abord un plus grand nombre de chiffres et, en outre, des signes tels que :

$$\text{les } \sqrt{}, \text{ les } \int, \text{ les } [\ ], \text{ les } (\ ), \text{ les } \Sigma, \text{ etc.}$$

Il faut en outre une casse spéciale pour l'*italique*.

Le modèle de casse que nous reproduisons est celui à un seul compartiment réunissant le haut et le bas de casse.

CASSE ORDINAIRE A UN SEUL COMPARTIMENT

SYSTÈME BOILDIEU

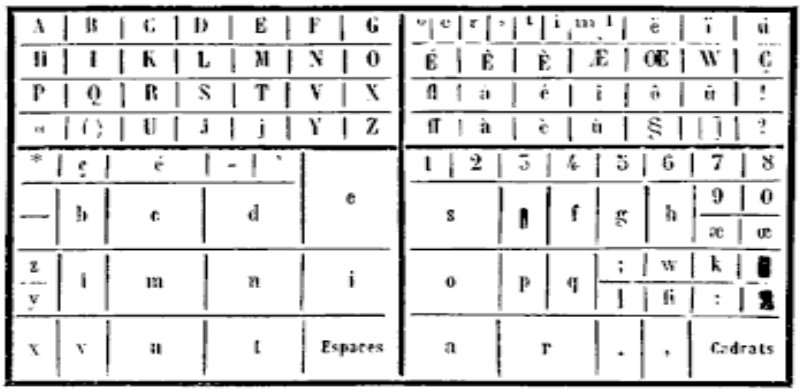


Figure 2. — Largeur, 85 cent.; hauteur, 57 cent.

Quant à la subdivision des 70,500 lettres du bas de casse, il y a, par exemple, 9,300 e, 5,500 s, 5,000 a, 5,000 i, tandis qu'il n'y a que 500 x, 400 z et 200 k. On voit tout de suite que ces proportions doivent changer selon l'origine et l'orthographe de chaque langue, et si, par exemple, sur une police de 100,000 caractères il n'y a que 200 k pour le français, il y en aura 2,500 pour le hollandais.

Signalons une particularité que plusieurs de nos lecteurs n'auront peut-être pas remarquée : l'Imprimerie impériale possède certaines lettres dont elle seule a le droit de se servir (par exemple des l), ce qui explique que nous ne puis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sions les reproduire. Ces l portent une petite barre au milieu et sont dites *l barrées*. C'est à Louis XIV que remonte cette distinction. C'est sur son ordre même qu'on doubla les déliés supérieurs des lettres *b*, *d*, *h*, *i*, *j*, *k*, *l*. Ces doubles déliés ont disparu dans les nouveaux types de l'Imprimerie impériale, mais le trait latéral de la lettre *l* est resté. Ce qui sous Louis XIV était une distinction considérée comme artistique est devenu, depuis la première république, un signe qui permet aux fonctionnaires de reconnaître si les proclamations et autres documents qu'ils reçoivent émanent bien réellement de l'Imprimerie officielle.

Nous ne quitterons pas la fonderie des lettres sans parler de certaines combinaisons et arrangements qui permettent au typographe d'imiter l'écriture et de produire des mots dont les lettres, au lieu d'être juxtaposées, semblent être formées sans qu'on ait levé la plume qui les a tracées.

Un exemple suffira pour faire comprendre cette combinaison ingénieuse. Prenons le mot *impitoyablement*. En caractères d'écriture un typographe pourra produire

Impitoyablement

et cela à l'aide des éléments suivants :

Impitoyablement

Nous ajouterons que ces types sont peu employés et qu'on les rencontre plus souvent dans les circulaires, les lettres de faire part, etc., de la province que dans les impressions de Paris, où l'on a adopté des anglaises ou, pour mieux dire, des américaines sans ligatures.

Il nous reste à parler de la composition typographique de la musique qui n'est pas une nouveauté, car il ne faut guère remonter qu'à 1500 pour trouver du plain-chant composé ; seulement chaque note était inscrite sur sa portée, de manière qu'il y avait solution de continuité dans les portées entre la note et celle qui la suivait immédiatement.

« Gering à Paris, dit M. P. Dupont, imprima un psautier, en 1494, avec le plain-chant noté. Les traités de musique de Gafori furent imprimés en caractères mobiles, dès la fin du quinzième siècle, à Naples, à Milan, à Brescia ; Erhard Oglin, à Augsbourg, imprima de la même manière, en 1507, un ouvrage lyrique intitulé *Tritonius*. Pierre Hutin, imprimeur à Paris, vers 1525, grava des poinçons pour l'impression de la musique ; la note et sa portée étaient d'une seule pièce.....; mais la typographie musicale resta encore longtemps bien imparfaite, comme l'attestent nos livres d'église. »

« En 1552, lisons-nous dans une notice publiée par l'Imprimerie impériale à l'occasion de l'Exposition de Londres, Adrien Leroy et Robert Ballard obtiennent du roi Henri II un privilége exclusif pour l'impression de la musique ; mais *sous l'empire du privilége*[1] *cette industrie demeure stationnaire*, et ce n'est que

1. Nous ferons remarquer que c'est à une notice *émanant de l'Imprimerie impériale* que la condamnation si formelle des priviléges est empruntée !

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux siècles plus tard, en 1754, que Breitkopf, à Berlin, reprend avec avantage les essais de ses devanciers, et fait faire à l'impression de la musique en caractères mobiles un nouveau et remarquable progrès. Il est bientôt suivi dans cette voie par Cooper de Londres, Reinhardt de Strasbourg, et à Paris par les frères Gando, par Fournier et par deux associés, Olivier et Godefroid. Enfin, de nos jours, MM. Duverger, Tantenstein, Curmer et Derriey ont cherché également, avec plus ou moins de succès, à résoudre le problème depuis si longtemps posé, de remplacer avec économie, pour l'impression de la musique, les planches de métal gravées ou frappées, dont l'usage a prévalu jusqu'à présent. »

En même temps (1862) l'Imprimerie impériale exposait des planches de musique solides fondues d'un seul jet dans un moule-matrice en bois, gravées en creux, avec la machine à brûler employée par les imprimeurs sur étoffes (voir la figure de la page suivante).

Les procédés à l'aide desquels on obtient ces planches sont d'une simplicité extrême. Ils ont une grande analogie avec ceux employés pour la frappe des notes sur les planches d'étain, tels qu'on les pratique aujourd'hui : ils peuvent, comme ces derniers, être exécutés par des femmes. Un bloc de tilleul, convenablement dressé, remplace la planche de métal. Sur celui-ci comme sur celui-là on trace à l'avance la place et l'écartement des parties, les divisions des mesures, la représentation des notes.

Dans cet état, le bloc est placé dans la machine à brûler, munie successivement des différents poinçons représentant les signes, les clefs ou les notes, et qui, chauffés par un double jet de gaz d'éclairage, sont enfermés dans le bloc autant de fois qu'ils doivent figurer dans la page ; ils y pénètrent à une profondeur déterminée et y laissent une empreinte nette et uniforme.

« Le moule est presque achevé, dit la notice de l'Imprimerie impériale. Il se complète par l'addition de bandes de carte d'une épaisseur égale à celle qu'on veut donner à la planche, et qu'on rapporte sur les bords; on le ferme enfin à l'aide d'une plaque de fonte bien dressée, puis on l'ajuste entre les jumelles d'une petite presse montée à charnière sur une cuve remplie d'eau. Cette disposition de la presse permet de faire prendre au moule soit la position horizontale pour l'ajustement des pièces, soit la position verticale pour le coulage de la matière en fusion, qui s'effectue en la forme ordinaire par l'orifice ménagé à cet effet. L'eau contenue dans la cuve sert à activer le refroidissement. »

Dès 1862, l'Imprimerie impériale faisait entrevoir que l'application à la typographie des procédés qui viennent d'être décrits semblait appelée à rendre de nombreux services non-seulement pour l'impression de la musique, mais encore pour celle de toutes les figures en trait, à lignes courbes ou diagonales, si difficiles à exécuter avec les matériaux ordinaires dont l'imprimerie dispose ou si coûteux à graver.

Ces prévisions se sont réalisées. A l'Exposition universelle de 1867 on a pu admirer, dans l'exposition de l'Imprimerie impériale, un tableau des plus curieux présentant diverses applications de la pyrostéréotypie.

Puisque l'occasion s'en présente, signalons aussi comme progrès réalisés par l'établissement gouvernemental des impressions et des coloriages typographiques appliqués à la géographie. La galvanoplastie donne une reproduction des planches à reproduire, soit en relief, soit en creux; on décompose la carte en autant de clichés qu'il y a de couleurs différentes, et on procède comme pour le tirage ordinaire.

Abordons maintenant la véritable transformation qui s'est opérée dans l'imprimerie : il s'agit de la stéréotypie, de la polytypie, qui ont donné naissance à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la prise d'empreinte et au clichage; quel que soit le nom adopté, le but est toujours d'obtenir la conservation, puis la multiplication d'une impression primitive.

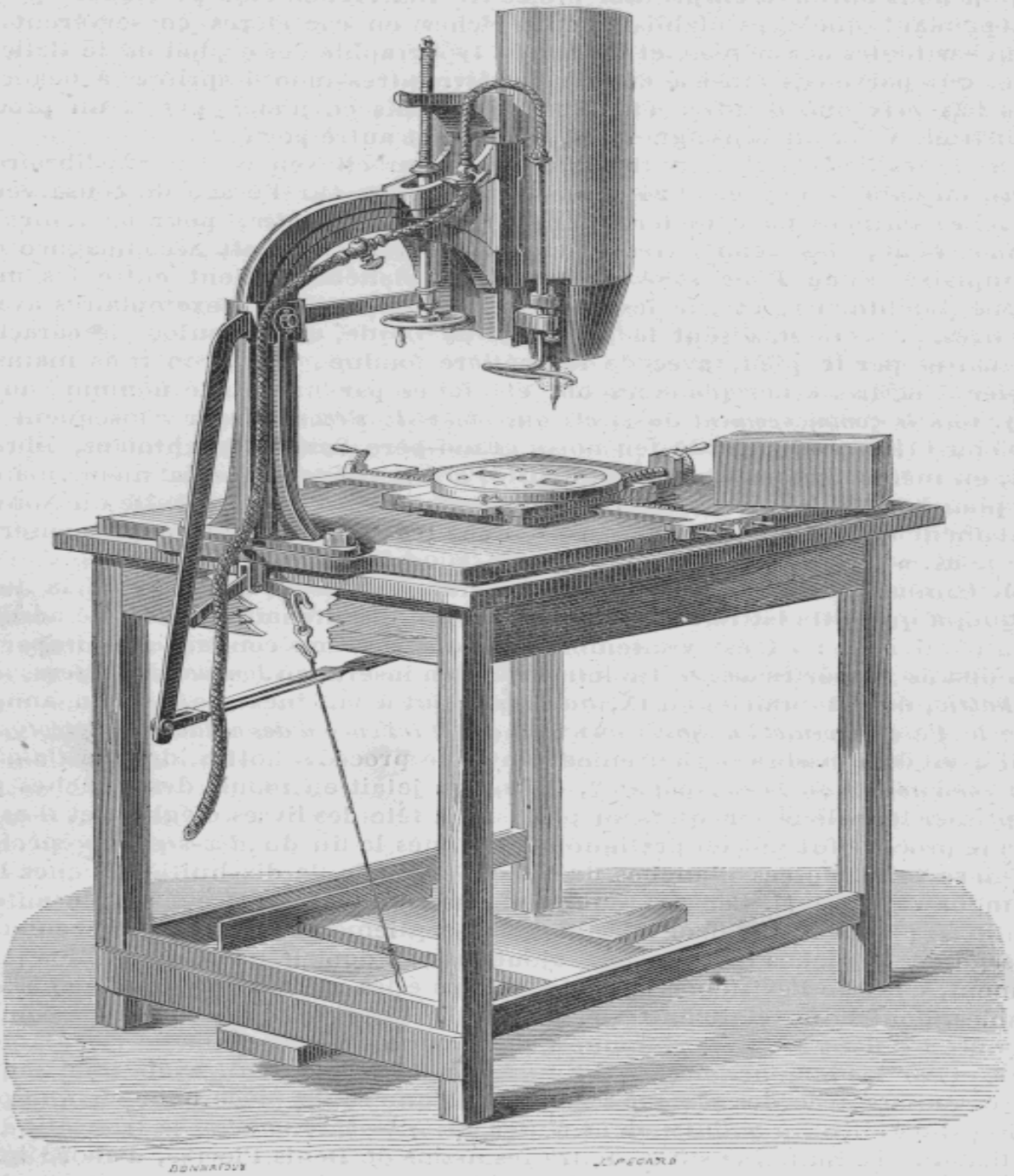


Fig. 3. — Pyrostéréotypie.

L'idée de conserver des pages composées est loin d'être nouvelle. En effet, de tout temps, les libraires, « calculant l'avance du papier d'un nombre d'exemplaires dont le débit ne s'achevait qu'au bout de dix ans, les frais de magasin, le déchet possible de leurs exemplaires, auraient souhaité conserver les planches pour tirer des exemplaires à mesure de leurs besoins; mais il fallait payer à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'imprimeur le plomb qui demeurait oisif, et il fallait aussi des magasins pour conserver le plomb dont la masse devenait énorme lorsque le livre avait une certaine étendue. » Ainsi s'exprime l'auteur d'un livre fort rare, M G. Camus [1], auquel nous aurons à emprunter plusieurs renseignements précieux.

Cependant quelques établissements riches en caractères conservèrent des planches toutes composées, et on cite la typographie des orphelins de Halle, en Saxe, qui parvenait ainsi à donner des livres très-bien imprimés à beaucoup plus bas prix que d'autres établissements. Mais ce n'était pas là un procédé industriel. Voici un renseignement d'une tout autre portée.

Une lettre de S. et J. Luchtmans, adressée au citoyen Renouard, libraire de Paris, en date de Leyde, le 24 juin 1801, fournit, sur l'usage de conserver les planches formées de caractères mobiles *et de les souder*, pour prévenir leur déplacement, des détails très-précieux. Cette lettre était accompagnée d'un exemplaire d'une *Bible stéréotype* dont les planches étaient entre les mains de MM. Luchtmans, et sur lesquelles plusieurs milliers d'exemplaires avaient été tirés..... C'est, disent les libraires de Leyde, une réunion de caractères ordinaires par le pied, avec de la matière fondue, d'environ trois mains de papier à écrire. « Les planches ont été faites par un artiste nommé Van der Mey, *vers le commencement du siècle qui vient de s'écouler* (par conséquent vers 1705 ou 1710), aux frais de feu notre grand-père Samuel Luchtmans, libraire, qui, en même temps et par ledit artiste, a fait préparer de la même manière les planches stéréotypes d'une Bible hollandaise *in-folio*, et ensuite un Nouveau Testament en petit caractère, in-24, dont les planches sont aussi conservées par nous. »

M. Camus, membre de l'Institut national, garde des archives de la République, à qui cette lettre et l'exemplaire qu'elle contenait avaient été adressés, ajoute en note : « C'est vraisemblement d'après une connaissance imparfaite des détails rapportés dans cette lettre qu'on a inséré, au *Journal des défenseurs de la Patrie*, du 22 prairial an IX, une note tout à fait inexacte, où l'on annonce que *les Bataves veulent disputer aux Français l'invention des caracteres stéréotypes.* »

Il avait déjà existé antérieurement un autre procédé. Lottin, dans le *Catalogue des imprimeurs de Paris*, page 87, dit qu'on jetait en moule des planches pour imprimer les calendriers qui sont placés à la tête des livres d'église, et il assure que le procédé fut mis en pratique à Paris, dès la fin du *dix-septième* siècle, et qu'on se servit de ces planches fixes dans ce siècle (le dix-huitième) chez l'imprimeur Vallègre. M. Camus, tout en déclarant qu'il ignore sur quelle autorité Lottin s'appuyait pour fixer à la fin du dix-septième siècle le commencement de l'usage des planches dont il parle, ajoute : « ce dont je peux parler plus positivement, c'est de l'existence de ces planches elles-mêmes, ou de planches semblables, dont l'une était entre les mains de Firmin Didot qui me l'a communiquée, » et dans son livre il donne une épreuve tirée sur l'une de ces planches.

De 1725 à 1739, un orfévre d'Édimbourg, William Ged, avait imprimé des livres entiers avec des planches moulées d'une seule pièce pour chaque page. Il imprima ainsi un *Salluste*, dont l'une des *planches moulées* se trouvait, dès le milieu du dix-huitième siècle, entre les mains de Denis Pierres, d'abord imprimeur à Paris, puis à Versailles.

En 1740, un imprimeur-libraire d'Erfurth, Michel Funckter, a publié un livre dont le titre porte : Introduction à la taille des planches de bois et de l'acier pour faire des lettres....., et à l'art de cuire le plâtre, *de préparer* des moules

1. *Histoire et procédés du polytypage et de la stéréotypie*, par A.-G. Camus, membre de l'Institut national, garde des archives de la République. Brumaire, an X.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de sable *pour couler lettres, vignettes, culs-de-lampes, médailles et* D'EN FORMER DES MATRICES.

En 1780, Fonlis de Glasgow, avait obtenu, pour ses procédés de polytypage, une patente de 15 ans, et il avait publié un *Virgile* polytypé.

Hoffmann, Allemand établi en France (1784), est l'auteur d'un procédé dont voici la description abrégée : « Une planche, composée en lettres mobiles, lui servit à faire une empreinte dans une terre grasse, ramollie, mêlée de plâtre, et apprêtée avec une colle gélatineuse formée de sirop de gomme et de fécule de pommes de terre. Cette empreinte devenait une matrice dans laquelle une composition de plomb, d'étain et de bismuth, pressée dans le moment du refroidissement, donnait des tables qui exprimaient en relief les caractères de l'imprimerie qui avaient servi à faire la matrice. »

Hoffmann imprima par ce procédé plusieurs feuilles de son *Journal Polytype* et un livre intitulé *Recherches historiques sur les mœurs*, qui a paru en 1787, en trois volumes in-8°.

Les affaires d'Hoffmann étaient prospères : il avait obtenu pour quinze ans un privilége exclusif pour graver en creux et en relief, *par les procédés d'un art nouveau;* une commission officielle, nommée par le garde des sceaux, avait vérifié ses procédés, et reçu un mémoire dans lequel était consigné le secret de ses découvertes; en décembre 1785, il avait été autorisé à ouvrir une nouvelle imprimerie, et l'inventeur pouvait croire au succès de ses entreprises..., lorsque tout à coup (septembre 1787) on vint apposer les scellés sur les portes de ses ateliers, et deux mois après un arrêt du conseil supprimait son brevet. A quels motifs faut-il attribuer ces rigueurs subites? Nous n'en savons rien ; mais à cette époque les corporations étaient puissantes, et les imprimeurs ne devaient pas voir avec plaisir des procédés nouveaux, — des procédés autres que ceux du corps de métier, pour parler le langage des jurandes.

Quoi qu'il en soit, les secrets d'Hoffmann avaient transpiré, ou du moins on en avait surpris quelques données. Déjà, en février 1786, l'abbé Rochon avait présenté à l'Académie des sciences un mémoire intitulé *Essai d'imprimerie*, exécuté d'après ses procédés. La *Bibliothèque des Ingénieurs*, fondée par M. Eugène Lacroix, quai Malaquais, 19, possède une épreuve tirée sur l'une des planches de l'abbé Rochon. Voici, d'après le mémoire déjà cité de M. Camus, quelques détails sur ce procédé :

« Rochon saisit les procédés d'Hoffmann sous un point de vue particulier : la facilité de composer un grand ouvrage avec un très-petit nombre de caractères. Les caractères qu'il s'était procurés pour travailler à la machine à graver étaient en si petite quantité qu'il ne pouvait composer que *quatre lignes* d'impression. »

Ici le citoyen Camus, membre de l'Institut, garde des archives de la République, ajoute la note suivante, qui mérite, à tous égards, d'être reproduite :

« On ne doit pas perdre de vue *qu'à cette époque* la presse n'était nullement « libre, et que, pour assurer l'exécution des règlements prohibitifs, il y avait « d'autres règlements qui ne permettaient pas que l'on pût acquérir à sa volonté « des caractères, une presse ou d'autres ustensiles d'imprimerie. La découverte « du moyen de multiplier les exemplaires d'un écrit, sans aller dans l'atelier « d'un imprimeur, était une conquête sur le despotisme, et cet avantage excitait « *d'une part le zèle pour les découvertes, mais de l'autre il rendait le gouvernement « très-contraire à leur propagation.* »

Cette note nous prouve que peut-être nous nous sommes montré injuste en supposant que c'est à la corporation des imprimeurs qu'il fallait imputer l'apposition des scellés sur les ateliers d'Hoffmann. Quoi qu'il en soit, nous continuons notre citation, mais ici c'est l'abbé Rochon qui parle :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Lorsque ces quatre lignes étaient composées, j'en prenais l'empreinte sur du plâtre fin, mêlé de poussière de charbon. Ce moule me servait à tirer plusieurs copies en fonte des quatre lignes que j'avais composées... Le moule doit être bien sec, et une pression légère sur le métal, lorsqu'il est à l'état pâteux, est utile pour obtenir une bonne planche. Il en faut sept ou huit pour faire une planche in-8°. Je puis assurer que ce procédé n'est ni long ni embarrassant. Il offre des moyens commodes de corrections et d'additions. »

Nous sommes entrés dans quelques détails sur les procédés de l'abbé Rochon, inspirés par les procédés d'Hoffmann, parce qu'ils présentent une certaine similitude avec deux systèmes qui ont figuré comme tout nouveaux à l'Exposition de 1867; maintenant nous reprenons l'histoire des tentatives faites pour arriver à la multiplication des planches d'empreinte.

En 1787, M. Carey, imprimeur à Toul, renferme une page composée dans un châssis en fer. Il l'attache à l'écrou sous un bloc de chêne suspendu à une bascule de fer au-dessus d'un pilier qui offre de la résistance. Sur ce pilier, et immédiatement au-dessous de la planche qu'il faut obtenir en creux, on place un carton mince, frotté d'huile, et dont les bords sont un peu relevés. L'ouvrier prend dans un fourneau placé à proximité de la matière qu'il vide dans la barque de carton. Il attend que cette matière se couvre d'un léger nuage qui annonce son refroidissement. On laisse tomber la bascule, et la planche s'imprime en creux. Le tout est détaché du bloc; les deux planches se séparent avec facilité; l'ouvrier, attachant la nouvelle planche sous le mouton, le laisse tomber sur de nouvelle matière, qui fournit une planche en relief, qui doit servir à l'impression.

Deux pièces constatent la réalité et la praticabilité du procédé de Carey : la première est un procès-verbal des officiers municipaux de Toul, constatant qu'en leur présence Carey a composé une page en caractères mobiles, dont il a été tiré une épreuve, et qu'ensuite, *dans l'espace d'un quart d'heure*, il a présenté aux commissaires une planche de métal fondu, dont l'épreuve ayant été faite et comparée avec celle en caractères mobiles, elle leur a paru au moins de la même perfection; la seconde, en date du 17 octobre 1787, est une lettre par laquelle le chef de bureau de la librairie annonce à Carey que le garde des sceaux lui permet d'imprimer sur planches fondues, selon les procédés de ses chantiers, mais en lui recommandant « de *tenir secrets*, jusqu'à nouvel ordre, » les moyens qu'il employait.

Enfin la Bibliothèque des ingénieurs, du quai Malaquais, possède une épreuve authentique, tirée sur l'une des planches de l'imprimeur de Toul.

Revenons maintenant à Hoffmann, ruiné, mais non abattu, par la saisie de son imprimerie. Il modifie ses procédés, et voici les résultats auxquels il arrive :

Il enchâsse chaque type dans un bloc de cuivre qui, par ses coupures et ses entailles, donne la facilité de le placer à angle droit sur la motte destinée à former le moule, de l'enfoncer perpendiculairement et à une profondeur déterminée. Il avait en même temps un couteau ou rabot, propre à ouvrir dans l'argile une tranchée avant d'y faire les lettres, et d'enlever ainsi l'excédant d'argile qui aurait embarrassé l'œil de la lettre. La motte, composée d'argile (comme nous l'avons décrit plus haut, page 507), était tassée dans un châssis de cuivre sur lequel glissait à volonté une règle mobile. La règle étant placée à la hauteur de la première ligne, on faisait glisser le long de la règle le couteau qui traçait l'espace ou la ligne. *On prenait ensuite chaque type et on l'enfonçait dans l'argile*, en ayant soin de le tenir appuyé contre la règle, et de manière qu'au moyen de l'entaille dans laquelle la règle s'engageait l'empreinte fût toujours droite et semblable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est ainsi qu'Hoffmann *évitait les frais d'une première composition* en page, et pouvait, avec 370 types seulement, composer les planches nécessaires à l'impression d'un volume.

Nous disons 370 types, parce qu'Hoffmann, qui avait compris les avantages de la réunion des syllabes qui se représentent le plus souvent, avait des cassetins spéciaux pour *able*, *ais*, *être*, *curs*, *ment*, etc.

Hoffmann définissait ainsi lui-même son procédé : « Se servir de types au lieu de caractères, et former avec ces types une chose équivalente à ce que les fondeurs en caractères appellent des frappes ou matrices, dans lesquelles ils fondent leurs lettres. »

L'ordre chronologique nous amène maintenant à parler des procédés de stéréotypie de M. Firmin Didot et de ceux d'Héran. Nous reproduisons textuellement la note insérée dans l'*Encyclopédie moderne* par M. Ambroise Firmin Didot.

« 1796. Firmin Didot, qui avait appliqué aux tables de Callet un procédé de stéréotypage pour éviter les chances de faute que les réimpressions occasionnent, invente un autre procédé qui consiste à fondre en métal très-dur, composé d'un alliage de plomb, de cuivre et d'étain, des lettres moins hautes de tige que celles ordinairement en usage, puis à enfoncer au balancier les pages composées avec ces caractères dans une plaque de plomb, d'où l'on retirait un cliché de cette page entière sur lequel on imprimait. Dans le procédé que M. Héran inventa *la même année*, on ne composait pas les lettres, mais c'était avec des matrices en cuivre, parfaitement justifiées et mises d'approche, que la page se trouvait composée par la réunion de ces matrices ou lettres en creux, d'où l'on retirait au moyen du clichage une page entière sur laquelle on imprimait. Le principal inconvénient de ce procédé dispendieux, qui exigeait un matériel considérable en matrices justifiées, c'est que, malgré le soin apporté à la justification de ces matrices, l'intersection à un point de jonction laissait pénétrer la matière en fusion lors du clichage, d'où des *barbes* qu'il fallait enlever ensuite entre les lettres. »

La vérité historique nous oblige d'ajouter que le brevet d'Héran est du 3 nivôse, an VI, accordé sur une pétition du 5 frimaire précédent, et celui de Firmin Didot du 9 nivôse de la même année. Héran obtint un brevet d'invention pour fabriquer, employer et débiter, pendant quinze années, des formats solides propres à imprimer en suivant les procédés indiqués dans la description, et le brevet de Firmin Didot est pour la composition, pendant quinze ans, de formats stéréotypes et des éditions en résultant. Peu de temps après avoir obtenu leurs brevets, Pierre Didot (l'aîné), Firmin et Héran forment une société pour exploiter en commun les procédés brevetés.

Après quelques années un inventeur fait breveter comme nouveau le procédé de prendre des empreintes au plâtre (nous avons vu que ce procédé remonte à 1785); puis, en 1849, au plâtre on substitue le papier.

Nous voici dans l'industrie tout à fait moderne, et nous croyons ne pouvoir mieux faire que de reproduire les notions que donne sur la prise d'empreinte et le clichage un des hommes les plus compétents, M. Boildieu. Ces notions sont le résultat d'une longue pratique personnelle et des observations communiquées à M. Boildieu par les nombreux clients auxquels il a fourni des ustensiles d'imprimerie.

CLICHAGE AU PAPIER.

Manière de faire la pâte. — Prenez deux kilos de bonne colle de pâte bien cuite, battez-la bien avec une spatule, mêlez ensuite deux kilos de blanc d'Es-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pagne, que vous écrasez le plus fin possible, passez-le dans un tamis de laiton, et mélangez le tout avec votre spatule : la pâte est alors bonne à employer. La pâte en doit être faite vingt-quatre heures à l'avance, et elle ne peut se conserver plus de trois jours.

Manière de faire les flans. — Vous prenez une bonne feuille de papier collé, que vous coupez de la grandeur de la page que vous voulez mouler; vous y étendez, à l'aide d'un pinceau, une couche de pâte qui ne doit pas être plus épaisse que la feuille de papier; vous prenez ensuite une autre feuille de papier pelure sans colle, que vous étalez légèrement avec la main, puis vous étendez une autre couche de pâte, puis une autre feuille de papier pelure, et ainsi de suite jusqu'au nombre de cinq feuilles de pelure, ce qui vous fait, avec la première, six feuilles; vous posez vos flans les uns sur les autres, entre deux plaques de métal, vous les chargez jusqu'au lendemain pour vous en servir.

Manière de faire les empreintes. — Lorsque vous avez imposé votre page dans une ramette à mouler, ayez soin de vous assurer si le mobile est bien propre; après l'avoir taqué, vous le graissez légèrement avec une petite brosse, puis vous prenez votre flan, vous le posez sur un marbre l'œil en dessous, c'est-à-dire du côté du papier pelure; vous prenez alors un petit rouleau en bois ou en fonte, et vous roulez votre flan, à seule fin d'abattre les plis et de le glacer; vous le posez ensuite sur l'œil de la lettre du mobile dont vous devez prendre l'empreinte; vous prenez votre brosse à mouler et vous frappez dessus légèrement et avec aplomb. Lorsque vous voyez que le flan est prêt à se percer [1], vous étendez avec votre pinceau une couche de pâte, et vous mettez une feuille de papier collé; vous frappez de nouveau, et quand vous êtes assuré que l'œil de la lettre a pénétré assez profondément dans le flan, vous prenez un taquoir en bois dur et vous taquez avec soin; vous étendez une autre couche de pâte, puis une autre feuille de papier collé, vous frappez légèrement, seulement pour faire adhérer, vous donnez un bon coup de taquoir, et il ne reste plus qu'à poser dessus deux molletons et à mettre en presse pour faire sécher [2].

Fonte des empreintes pour obtenir des clichés. — Lorsque votre matière est fondue, vous en coulez quatre ou cinq plaques dans votre moule à clicher pour l'échauffer; puis, prenant votre empreinte qui doit être bien sèche, vous la faites chauffer jusqu'à ce qu'elle vous brûle les doigts, vous la mettez dans votre moule, et vous tâtez votre matière avec un papier collé; s'il jaunit un peu fort, votre matière est bonne à verser, et, lorsque vous voyez qu'elle est figée, vous ouvrez votre moule, et vous jetez de l'eau sur la matrice; quand elle s'en est bien imbibée, vous la mettez sur une plaque chaude, et un instant après vous l'enlevez facilement de dessus votre cliché.

Manière d'apprêter le moule pour fondre. — Il faut apprêter une certaine quantité de colle avec de l'eau, de manière qu'il n'y ait pas de grumelots;

1. Nous nous permettons d'engager *les débutants* à ne pas suivre trop rigoureusement ce conseil : lorsqu'on attend le moment où le flan *est prêt* à se percer, on attend souvent trop longtemps, et il se perce effectivement : il vaut mieux prévenir le déchirement et mettre une feuille de renforcement de plus pour ne pas avoir à recommencer.

2. Lorsqu'on veut se borner à prendre empreinte et que l'on n'est pas pressé par le temps, c'est-à-dire si l'on n'a pas besoin d'un cliché sur-le-champ, on peut à la rigueur se borner à laisser séjourner le flan sur la composition, après l'avoir placé sur une presse ordinaire où il aura subi une pression de quelques minutes. Le flan se sèche naturellement sans que l'on soit obligé d'avoir recours à un fourneau spécial; seulement, il faut avoir soin de le couvrir avec de la flanelle bien sèche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en étendre sur la plaque qui se rabat sur les équerres, étendre ensuite une

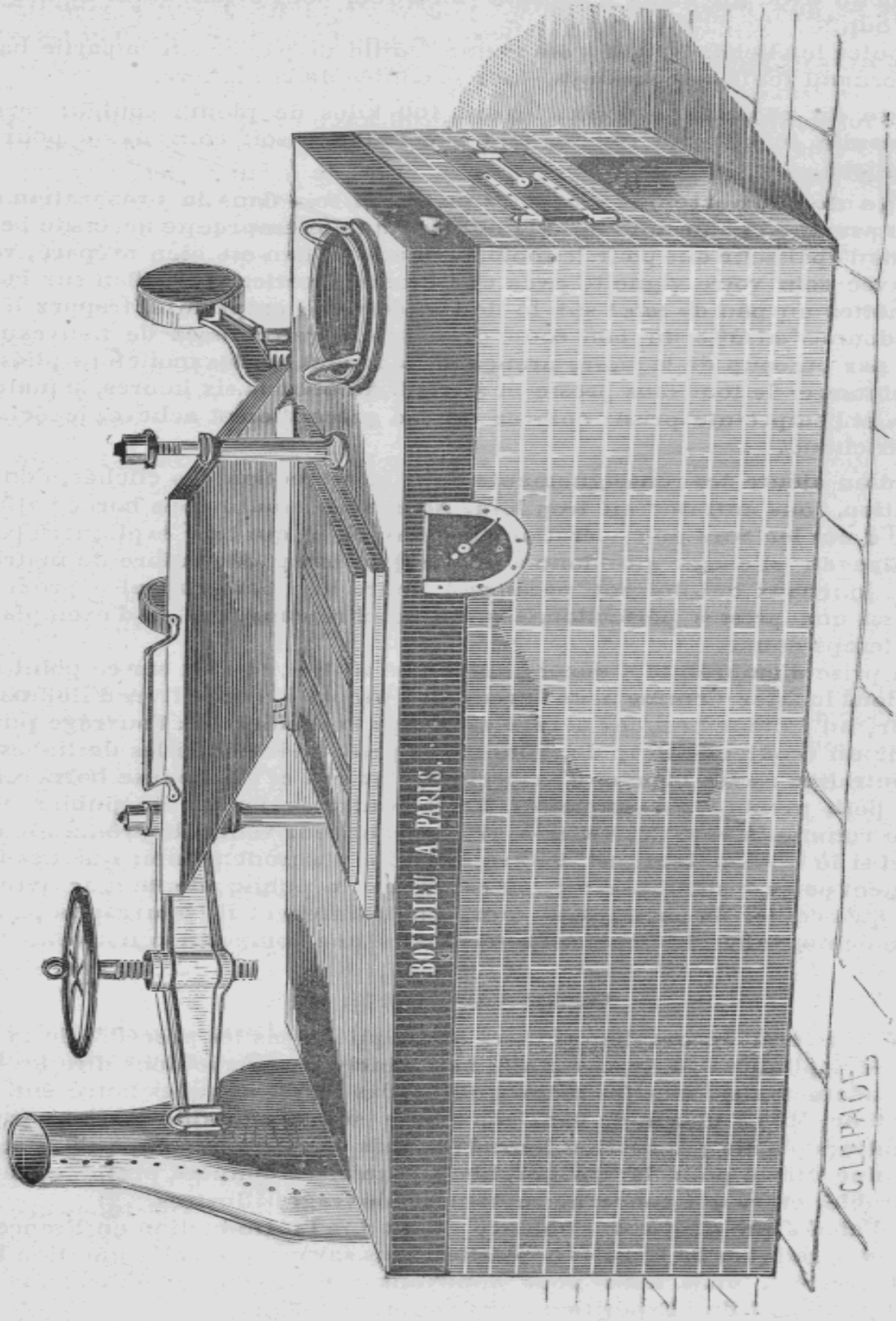


Fig. 4. — Presse à platine, pour faire les clichés, réunissant tout le matériel d'une stéréotypie.

feuille de papier demi-collée, afin que le dessous du cliché soit intact et sans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soufflure. A la première fonte que vous ferez avec cette feuille, vous aurez soin de la blanchir avec du blanc d'Espagne bien sec, pour éviter de la brûler du premier coup.

Pour couler le cliché, il faut coller une feuille de papier sur la partie basse du flan, formant feuille de conduite pour la coulée de la matière.

Mélange du régule. — Faites fondre 100 kilos de plomb couleur cerise, mettez ensuite 16 kilos de régule, afin que l'alliage soit convenable pour la fonte du cliché.

Clichage de vignettes. — Apportez un grand soin dans la préparation des flans pour prendre l'empreinte des vignettes, laquelle empreinte nécessite beaucoup moins d'épaisseur que pour le mobile. Quand le flan est bien préparé, vous talquez avec soin votre vignette avec une brosse; mettez votre flan sur la vignette, mettez un peu de *talc*[1] sur le dessus de votre empreinte, frappez légèrement, donnez ensuite un bon coup de taquoir, refroidissez de nouveau et terminez par un coup de taquoir; prenez un blanchet ou des molletons pliés en double, et mettez le tout sous presse et à froid. Au bout de six heures, la matrice est sèche, et l'empreinte prise; enlevez-la avec précaution et achevez le séchage au séchoir chaud.

M. Boildieu ajoute des renseignements pour la correction des clichés, dont la reproduction nous entraînerait trop loin. Nous avons voulu nous borner à faire connaître à nos lecteurs une opération fort simple, et qui leur expliquera comment, grâce au clichage qui donne en peu de temps le nombre de matrices voulu, les journaux qui doivent paraître à heure fixe parviennent à produire, grâce aussi aux presses perfectionnées, un nombre considérable d'exemplaires dans un temps donné.

Mais la prise d'empreinte a encore une autre utilité, et c'est sur ce point que nous voulons insister. Comme nous l'avons dit à propos des tentatives d'Hoffmann, un auteur, un éditeur hésitent devant un tirage considérable : l'ouvrage publié peut avoir un écoulement rapide, comme il peut arriver que les destinées lui soient contraires : avec la prise d'empreinte, l'auteur et l'éditeur se borneront à tirer un petit nombre d'exemplaires. Ils verront si la faveur du public — inconstante comme la rose des vents — vient enfler leur voile; ils prendront empreinte et si le mistral leur est défavorable, ils n'auront à subir que des frais relativement peu considérables; si, au contraire, le public adopte leur livre, ils n'auront qu'à couler du métal dans leurs empreintes, et ils pourront à peu de frais faire de nouvelles éditions, sans recourir à une composition nouvelle.

CLICHÉS GALVANIQUES.

Notre étude serait incomplète si nous n'indiquions pas les procédés de la galvanoplastie appliqués à la typographie. Les principes, nous voulons dire les opérations fondamentales, sont les mêmes que celles qu'a indiquées notre éminent collaborateur, M. de Plazanet, dans son étude si remarquable et si remarquée sur la galvanoplastie (Tome II et tome IV). Mais nous avons cru qu'il y aurait une certaine utilité pour la typographie à réunir les données pratiques de cet art admirable, en ce qui concerne surtout les ouvrages illustrés.

Disons d'abord que c'est à M. Coblence qu'est due l'introduction en France des applications pratiques de la galvanoplastie. Nous savons que cette question a été fort controversée, mais nous nous appuyons sur le rapport officiel du jury mixte international de l'Exposition universelle de 1855 :

1. *Talc*, pierre transparente désignée dans le commerce sous le nom de poudre de savon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« M. Coblence, dit le rapport, est le premier qui, à Paris, ait appliqué effectivement la galvanoplastie, d'abord à la typographie, puis à d'autres industries.

« Ses titres à la priorité pratique sont constatés; ils sont *antérieurs de six ans* à l'Exposition universelle de Londres (1851.)

« M. Coblence était simple ouvrier compositeur dans une imprimerie de Paris.

« Il a aujourd'hui (1855) des relations commerciales non sans importance.

« Le désintéressement exagéré de M. Coblence égale son intelligence; il communique, sans hésiter, tous ses procédés à des confrères, à des concurrents que des ouvriers formés par lui contribuent chaque jour à instruire.

« Les notes et les renseignements qui constatent les différents titres de M. Coblence ont passé sous les yeux du jury; ils émanent des sources les plus honorables. »

A la suite de ce rapport, une médaille de première classe fut attribuée à M. Coblence, qui fut ensuite décoré de la Légion d'honneur.

Quant aux données pratiques employées par la galvanoplastie, c'est encore une fois à M. Boildieu que nous allons emprunter les renseignements qu'il a condensés sous forme de manuel opératoire.

Apprêt du bain. — Dans une cuve en bois, garnie de gutta-percha, et d'une contenance de 50 litres, vous mettez environ 42 litres d'eau douce; ensuite vous suspendez à travers la cuve un petit panier en osier qui doit baigner dans l'eau de cinq centimètres environ. Dans ce panier vous mettez, en cinq ou six fois, et à mesure qu'il se dissout, la quantité de 15 à 20 kilogrammes de sulfate de cuivre, puis dans le bain, un demi-litre d'acide sulfurique. Au bout de quelques heures le sulfate de cuivre est dissous. Le bain alors doit peser 18 à 24 au pèse-acide.

Imposition. — Avec une ramette à vis et des garnitures sur deux hauteurs, vous imposez la gravure ou l'objet dont vous voulez prendre l'empreinte, en ayant soin de bien garnir les vides avec de la gutta-percha un peu liquide. Si c'est un sujet qui a déjà servi à l'impression, il faut le nettoyer complétement et avec beaucoup de soin par le sulfure de carbone. Ensuite, à l'aide d'une brosse disposée pour ce travail, vous plombaginez soigneusement la gravure, et vous la laissez imposée dans sa ramette sur le marbre de la presse.

Apprêt de la gutta-percha. — Toute espèce de gutta-percha peut servir, pourvu qu'elle soit épurée, en petits ou en gros morceaux.

Pour la détremper et la ramollir, vous la faites chauffer au bain-marie et dans l'eau chaude. Lorsqu'elle est molle, vous en faites, à la main, une boule ou pelote que vous posez dans le moule disposé à cet usage, puis, après l'avoir couverte d'une légère feuille de zinc, dont la surface est mouillée, vous placez le moule sous la presse, et, avec une forte pression, vous obtenez une plaque de gutta, que vous coupez à la dimension de la gravure à l'aide d'un couteau spécial.

Prise de l'empreinte. — Le morceau de gutta étant coupé comme il est dit ci-dessus, vous le plombaginez des deux côtés avec la brosse, afin que la matière ne colle point aux doigts : ensuite vous le tenez au-dessus d'un petit fourneau rempli de charbon de bois bien allumé. Dans cette position, et avec les deux mains, vous le tournez en tous sens. Lorsque la gutta est devenue assez molle pour fléchir sous les doigts, vous la posez sur la gravure, vous posez une feuille de zinc mouillée comme il est dit plus haut, très-mince par dessus; vous poussez le tout sous la presse, et, vivement, vous lui faites subir une très-forte pression,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que vous laissez durant quelques minutes, pour donner à l'empreinte le temps de se refroidir. Vous aurez eu le soin, préalablement, de placer la ramette au milieu de la presse, afin d'obtenir une pression bien égale.

Apprêt de l'empreinte avant de la mettre au bain. — Il faut couper ce qu'il y a de trop autour du moule, en ayant soin de laisser autour de l'empreinte un espace pour clouer les baguettes; ensuite vous percez deux trous en haut de l'empreinte pour y attacher un fil de laiton rouge recuit; ce fil sert de conducteur pour couvrir l'empreinte de cuivre et pour l'accrocher à la tringle. Quand c'est une empreinte très-grande, il faut mettre plusieurs attaches; activer le cuivrage. Après cette opération, ayez soin de graisser le bord de l'empreinte avec du suif, pour que le cuivre ne s'attache pas derrière le moule. Pour la tenir en équilibre dans le bain, attachez derrière l'empreinte un petit lingot de plomb entouré de gutta.

Amalgame des zincs. — Tenez le zinc debout dans un petit vase en grès ordinaire, appelé *terrine*, et, à l'aide d'un pinceau que vous trempez dans l'amalgame composé de mercure et d'acide sulfurique, vous donnez une légère couche en zinc. Cet apprêt se fait chaque fois que vous mettez au bain. Quand le zinc est neuf, il faut le nettoyer légèrement avec un peu d'acide sulfurique pour que l'amalgame prenne mieux.

Apprêt du diaphragme. — Vous mettez un diaphragme dans la cuve, après l'avoir rempli d'eau douce très-propre, 2 centimètres plus bas que l'eau de la cuve; vous y ajoutez un petit verre d'acide sulfurique, et, lorsque l'on n'aura pas eu recours au moyen d'amalgame indiqué ci-dessus, on se contentera de laisser tomber dans le diaphragme trois gouttes de sel à amalgame, composé à cet effet. Cela fait, le liquide du diaphragme doit peser trois degrés au pèse-acide.

Apprêt des tringles en cuivre se posant sur la cuve. — Ayez toujours soin de nettoyer les tringles en cuivre et de les tenir très-propres, surtout au moment de mettre au bain. Vous les posez sur la cuve et vous mettez votre diaphragme poreux au milieu de cette cuve, la tringle du milieu au-dessus du diaphragme. Après avoir amalgamé votre zinc, vous le fixez avec une griffe mobile à vis, et vous l'accrochez à la tringle en cuivre.

Mise en bain. — Vous remplissez la boîte en gutta-percha de sulfate de cuivre, accrochée dans le bain, du côté opposé à l'empreinte, et regardant l'œil du moule. Vous prenez votre empreinte, et vous la plombaginez complétement du côté de l'œil seulement. Ensuite vous prenez de l'alcool à 36 degrés, vous en mettez dans un verre et vous le laissez tomber sur l'œil de votre empreinte, de manière à bien humecter l'œil et également partout, le tout au-dessus d'un vase, à seule fin de ne pas perdre l'alcool.

Cette opération faite, vous l'accrochez à la tringle, l'œil regardant la pile, qui est le vase poreux, de manière qu'elle soit baignée entièrement sans toucher le fond du bain, et vous voyez tout de suite fonctionner votre pile, c'est-à-dire le dépôt se produire sur l'empreinte et se couvrir au bout de quelques heures. Si elle ne se garnit pas bien vous ajoutez deux gouttes d'alcool et vous la replongez dans le bain. Si la pile fonctionnait mal, vous mettriez deux gouttes d'amalgame dans le diaphragme, afin d'activer l'action de la pile. En la stimulant de cette manière et souvent, on peut obtenir une empreinte en douze heures de temps, mais cela devient coûteux. Pour obtenir économiquement un bel et bon produit, très-fort en cuivre, il faut de vingt à trente heures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au sortir du bain. — Vous présentez l'empreinte au-dessus d'un fourneau de charbon de bois allumé, en la retournant avec les mains, sens dessus dessous;

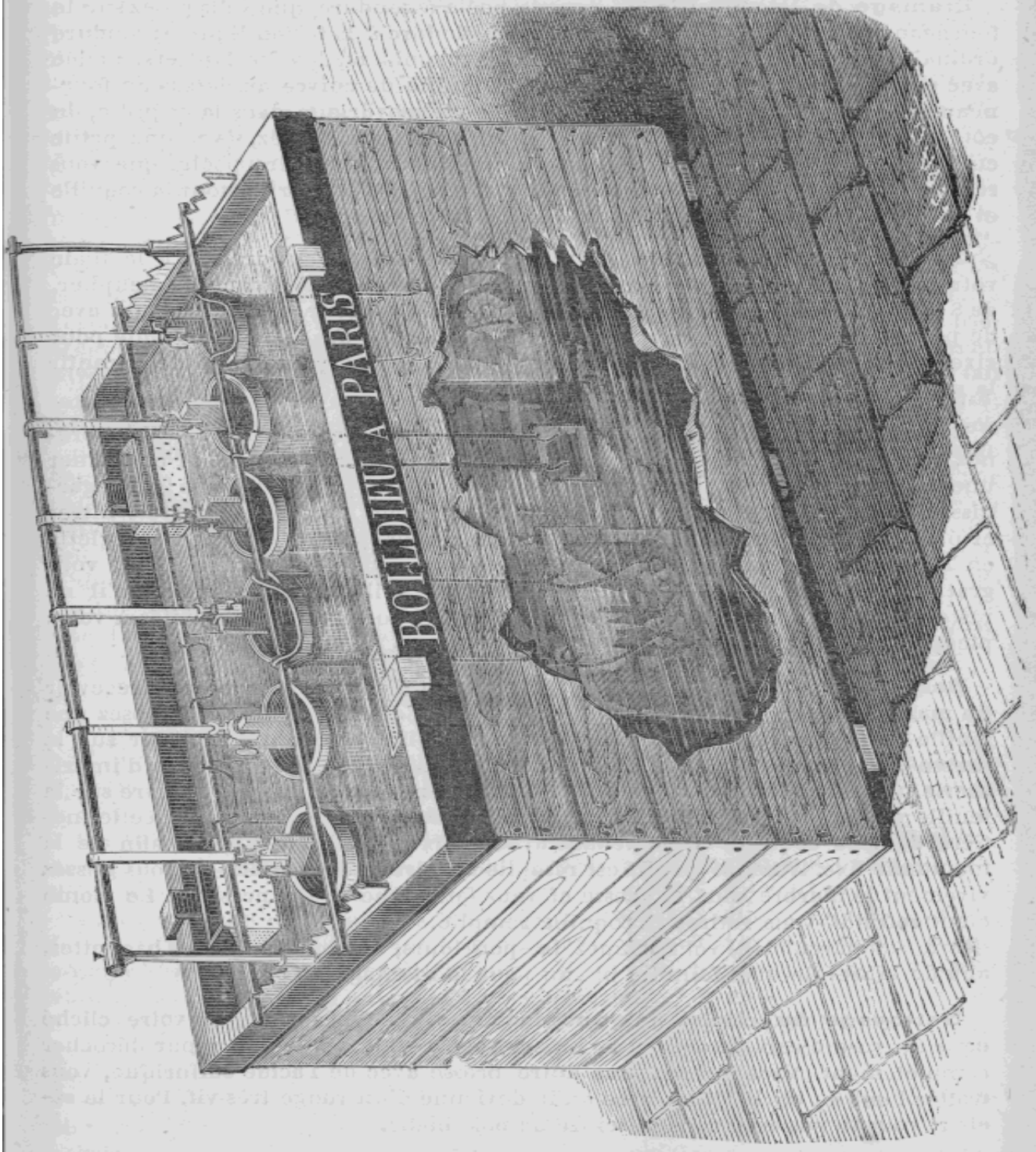


Fig. 5. — Galvanoplastie. — Pile et cuve en gutta-percha.

aussitôt que la gutta est un peu chaude, la coquille en cuivre se détache de la gutta.

Première garniture au blanc avant l'étamage. — Délayez une certaine quantité de blanc d'Espagne ou de Meudon dans un peu d'eau pour former une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pâte malléable. Vous couvrez ensuite votre coquille en remplissant complétement l'œil et les creux pour les préserver de la filtration de la soudure.

Étamage de la coquille. — Avec la poêle à soudure, que vous posez sur le fourneau de charbon, vous faites chauffer la soudure à la fusion liquide; soudure ordinaire en baguette dont se servent les plombiers, les ferblantiers, mêlée avec moitié de plomb, etc. Vous tenez la coquille de cuivre au dessus du fourneau avec des pinces et avec un peu d'acide chlorhydrique dans la coquille, du côté opposé de l'œil. Aussitôt que l'acide bout, vous prenez, avec une petite cuiller en fer à long manche, un peu de soudure dans votre poêle, que vous roulez de quart en coins, à droite et à gauche, afin d'étamer partout la coquille et de la jeter dans un seau d'eau.

Garniture de la coquille pour la remplir. — Vous dressez à la main votre coquille et vous clouez autour une baguette en bois blanc de peuplier, de 8 à 12 millimètres de large, sur sept à huit d'épaisseur, que vous clouez avec de petits clous à tête plate très-fine. On la pose sur un marbre en fonte pour river les clous et pour former un cadre autour de la coquille, afin de garantir la matière en plomb pour remplir la coquille.

Deuxième garniture au blanc pour remplir la coquille. — Vous prenez un peu de blanc d'Espagne ou de Meudon que vous délayez pour en former une même pâte, semblable à celle que vous avez faite pour l'étamage; vous garnissez de même en plus les petits joints du cadre où la matière pourrait filtrer et plomber l'œil du cliché galvanoplastique; vous prenez une petite réglette en bois dur; et lorsque le blanc mis sur votre coquille a bien séché, vous grattez avec votre petite réglette la surface de l'œil seulement, pour qu'il ne reste pas de pâte sur l'œil : sans cela la pression formerait des cavités à votre pièce.

Remplissage de la coquille. — La presse est disposée de manière à recevoir un marbre à remplir, bien droit, qui glisse entre deux tasseaux. Vous posez une feuille de papier registre sur le marbre à remplir qui est prêt à glisser sur la presse. Vous faites fondre de la matière un peu plus douce que celle d'imprimerie, chaude à la *fusion seulement*. Vous posez votre coquille en cuivre sur la feuille de papier registre; avec votre cuiller ou pochon, vous coulez cette matière dans la coquille en la tenant avec deux réglettes à la main, afin de la maintenir fixe. Aussitôt qu'elle est remplie au niveau des baguettes, vous glissez vivement le marbre sous la presse et vous faites une légère pression. Le plomb étant refroidi, vous retirez la coquille remplie.

A la scie circulaire, vous coupez les pourtours, autrement dits les baguettes, afin de laisser de quoi faire un biseau pour le montage du cliché.

Nettoyage du cliché galvanoplastique. — Vous trempez votre cliché dans un vase d'eau, et avec une brosse vous nettoyez le blanc; pour dérocher complétement, vous prenez une autre brosse avec de l'acide sulfurique, vous frottez l'œil du cliché jusqu'à ce qu'il devienne d'un rouge très-vif. Pour le sécher, vous le passerez dans la sciure de bois blanc.

Opérations finales. — Vous présentez une règle d'acier et vous voyez si le cliché est droit du côté de l'œil, et avec un marbre bien droit vous posez une feuille de papier registre sur le cliché, du côté de l'œil; avec un marteau spécial en dessous, vous renfoncez la matière avec des poinçons en acier faits à cet usage, c'est-à-dire carrés, ronds, droits ou triangulaires, afin de faire ressortir la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

partie droite de l'œil pour l'impression; vous montez le cliché sur le tour, vous le réduisez d'épaisseur, en mettant l'œil du cliché sur le plateau du tour, avec une feuille de papier; ensuite vous montez le cliché sur un bloc en bois ou sur un bloc en plomb; de là vous le portez à l'impression.

Tels sont les renseignements clairs et précis que nous donne M. Boildieu. Avec ces données, la prise d'empreinte, le clichage, la galvanoplastie sont à la portée de tout le monde; et, il serait insensé de le contester, il y a eu un véritable progrès depuis les dix ou les quinze dernières années, sous le rapport de la rapidité de l'exécution, et du moyen offert aux auteurs et aux éditeurs de conserver des matrices qui permettent de rééditer un livre en épargnant les frais d'une nouvelle composition. Il y a là, disons-nous, un véritable progrès, parce que le clichage permet de donner des livres à meilleur marché, et de vulgariser ainsi les connaissances acquises. Mais tout en proclamant ce progrès, il convient de faire certaines restrictions. Le désir très-naturel de faire usage des clichés qu'ils possèdent empêche certains auteurs ou leurs éditeurs d'élever leurs ouvrages au niveau de la marche de la science, ou de tenir compte des événements. On fait une nouvelle édition d'un dictionnaire qui s'occupe des arts et métiers, et qui, au moment de sa publication, était au courant de tous les progrès de l'industrie : aujourd'hui, vingt ans séparent l'édition ancienne de la nouvelle; les traités de commerce ont modifié les conditions économiques de la production, et, par suite, les frais de revient et de vente; mais il faut utiliser les clichés que l'on possède, et l'on arrive ainsi à des anomalies étranges Un autre dictionnaire qui, dans sa spécialité, renferme à la fois les mots de la langue et les événements historiques a été cliché, et il faut éviter une composition nouvelle : de cette nécessité, de cette économie, il résulte, par exemple, qu'en 1868, on imprime que le prince Louis-Napoléon est prisonnier au fort de Ham..... *On avait des clichés, il fallait s'en servir!*

Notre étude était terminée et prête à être mise sous presse, lorsque nous avons appris qu'un progrès considérable vient d'être réalisé par M. Coblence, inventeur des procédés de galvanoplastie que nous venons de décrire.

L'artiste s'était posé le problème de trouver les moyens de fabriquer des électro-types à bas prix. Il y est parvenu, car son procédé réalise une économie de 66 pour 100.

Jusqu'à présent on faisait des électro-types pour toutes les vignettes, quelquefois pour le texte, et plus rarement encore pour texte et vignettes, comme le *Magasin pittoresque*, qui depuis douze ans est ainsi électrotypé; mais la dépense était trop élevé pour les ouvrages à tirage limité.

M. Coblence a commencé par abandonner la gutta-percha pour la remplacer par la cire, moulage qu'il a emprunté aux Anglais, qui le tenaient des Américains.

Le moulage à la gutta-percha est, il est vrai, aussi parfait que le moulage à la cire, mais il donne un retrait de 5 centimètres par mètre.

Il est nécessaire de faire le dépôt de cuivre assez fort pour qu'il ne soit pas faussé quand on le séparera du moule au moyen de la chaleur.

Voici la description du nouveau procédé :

Un bois gravé ou une forme typographique étant donnés, on prend un châssis de la grandeur nécessaire; on le pose sur un marbre de niveau, et on y coule

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une solution de cire, de colophane et de térébenthine. Ce mélange se solidifie en se refroidissant sur une surface unie. On applique le côté gravé du bois sur cette surface, et on le soumet à une forte pression. L'empreinte ayant reçu préalablement une couche de plombagine qui la rend conductrice de l'électricité, on la place verticalement dans un bain galvanoplastique, accrochée à une tringle en communication avec le pôle zinc de la pile. En opposition, on suspend une plaque de cuivre à une seconde tringle qui communique avec le pôle charbon. L'effet de l'électricité se produit : la plaque de cuivre se dissout, et les molécules qui se détachent forment pour ainsi dire une espèce de courant de métal (cuivre) qui vient recouvrir l'empreinte, qui s'en empare et s'y solidifie. Cette feuille de cuivre ainsi obtenue, dont la durée de l'opération du bain limite l'épaisseur, prend le nom de *coquille*, et est la reproduction fidèle du relief de la gravure originale.

Pour donner ensuite au cliché la consistance nécessaire à l'impression, il faut le doubler d'un alliage composé de plomb et d'antimoine, le même que celui employé pour les caractères d'imprimerie. Le cliché étant double, on rogne les bavures du métal à la scie et au rabot, on le met d'égale épaisseur au moyen d'une machine spéciale, et on le cloue enfin sur une planchette qui lui donne la hauteur réglementaire des caractères d'imprimerie. Avec ce procédé, M. Coblence peut donner des clichés au prix de 1 centime le centimètre carré.

L'économie porte principalement sur la production du cuivre. En effet, si l'on retire la coquille cependant mince, ce qui ne peut se faire qu'avec le moule en cire, la dépense principale est diminuée considérablement, cette coquille n'étant restée au bain galvanique que douze heures au lieu de trente-six.

L'étamage, le doublage et le moulage ont aussi subi des modifications, mais moins intéressantes. Cependant nous ferons remarquer qu'une coquille mince ne pouvant se tenir à la main, il a fallu trouver le moyen de l'étamer sur un plan.

On nous signale certaines difficultés que rencontre le nouveau procédé. C'est une hardiesse qui excite la méfiance. Les conducteurs de machines croient que la force en cuivre est une nécessité absolue pour un grand tirage. C'est une erreur : le cuivre ne s'use pas par le passage des cylindres de la machine. Les planches de taille-douce elles-mêmes ne s'usent que par l'essuyage au chiffon. Telle est la cause du préjugé contre le cuivre mince. Nous avons d'ailleurs vu des ouvrages tirés à grand nombre, sans que texte ou figures fussent fatigués, au moyen des nouveaux électrotypes, entre autres le *Magasin pittoresque*, chez M. Best, et la *Mode illustrée*, chez M. Lainé.



Fig. 6. — Atelier d'électrotypie.

Les figures que nous reproduisons représentent des vues d'ensemble d'un atelier d'électrotypie et d'un atelier de stéréotypie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

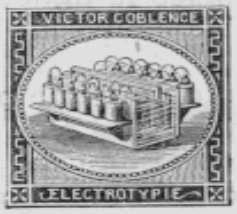
Ajoutons que M. Coblence a aussi appliqué son système d'électrotypie à la fa-



Fig. 7. — Batteries électriques.



Fig. 8. — Stéréotypie ou clichés en matière d'imprimerie.



brication des timbres-poste, bien entendu pour l'étranger, puisque naturellement le gouvernement s'est réservé, en France, la fabrication de ces timbres. Notre figure ci-contre représente comme modèle un timbre de fantaisie.

Il nous reste à parler de deux systèmes qui se sont produits à l'Exposition de 1867 : le compositeur typographe mécanique litho-typographique de M. Flamm, et un système analogue sinon identique de l'Américain Sweet.

Voici quelques renseignements sur le compositeur-mécanique de M. Flamm :

Il ne renferme qu'un seul alphabet pour chaque caractère, et autant de variétés de caractères qu'il faut de casses complètes pour pouvoir composer un texte quelconque demandé. Ces types sont renfermés dans un réservoir qui, pivotant sur son axe, les entraîne tous dans un cercle. Le contenu du réservoir est gravé sur la jante d'un volant manipulateur. Il suffit de mettre un des signes gravés sur le volant, vis-à-vis d'un repère fixe, pour que le type demandé se trouve exactement sous le poinçon imprimeur; c'est le seul endroit du réservoir où le type peut s'abaisser et imprimer son œil sur le moule, lorsque le poinçon appuie sur le type. — Un chariot porte-moule se meut à volonté transversalement et longitudinalement sous le réservoir; le premier mouvement sert à la formation des lignes, et le second à l'alignement pour obtenir des pages. Sur ce chariot on dépose une pâte plastique apte à recevoir et à conserver les empreintes reçues.

Pour commencer une ligne quelconque on meut ce chariot en tournant une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vis; il entraîne dans sa marche une aiguille justificatrice qui indique sur une échelle graduée la marche accomplie du chariot. Lorsque cette aiguille est arrivée à la marge de la page à créer, on manipule le volant de la main droite, en appelant vis-à-vis du repère fixe une lettre quelconque; en attirant de la main gauche un levier moteur, la lettre s'abaisse, imprime son œil dans la pâte et rebondit dans sa position primitive; aussitôt après, le chariot se meut sous la volonté de l'ouvrier et présente une nouvelle portion de la pâte unie; une seconde lettre y implante son œil et ainsi de suite pour toutes les lettres de la ligne. Pendant que l'ouvrier forme ainsi la ligne, il ne s'occupe que de sa copie, jusqu'à ce qu'un timbre l'avertisse de bien finir la ligne. Ici commence l'opération de la justification qui ne présente aucune difficulté, car, suivant que l'ouvrier est devenu plus ou moins adroit, il se fait avertir plus ou moins près de la fin de la ligne; il marque sur le cadran le point où est arrivée l'aiguille indicatrice, il débraye le poinçon imprimeur, et continue la composition comme si les types fonctionnaient. Arrivé à la fin de la ligne, il tombera juste ou il trouvera quelques points en moins ou en plus, dont il tiendra compte pour répartir cette différence entre les blancs des mots à composer : car, dès qu'elle est connue, l'ouvrier engrène le poinçon imprimeur, touche un bouton qui intervertit instantanément la marche du chariot de gauche à droite, le meut de sorte que l'aiguille indique exactement la fin de la ligne, et il compose à rebours les mots qui doivent entrer dans la ligne à achever.

Lorsque la page est finie, on enlève la plaque, qui représente un moule en creux de la plus grande netteté; quinze minutes suffisent pour le sécher et en tirer des clichés à la manière accoutumée. Les corrections n'offrent aucune difficulté, car la pâte conserve très-longtemps sa plasticité; on efface la ligne, la phrase ou le mot vicieux avec une spatule et l'on recompose de nouveau, en remettant la plaque exactement à sa place sur le chariot.

Le système de M. Flamm et celui de l'Américain Sweet qui n'en diffère que par quelques détails sont, on le voit, très-ingénieux; mais si le lecteur veut bien se reporter à la description que nous avons donnée des procédés de Hoffmann, de ceux de l'abbé Rochon, et surtout des modifications apportées par Hoffmann lui-même à son premier procédé, on verra qu'il n'y a rien d'absolument nouveau dans le principe des appareils qui se sont produits à l'Exposition de 1867, et qui peuvent exactement, comme celui de Hoffmann, se résumer en ces mots : « Se « servir de types au lieu de caractères, et former avec ces types une chose équi- « valente à ce que les fondeurs en caractères appellent des frappes ou matrices, « dans lesquelles ils fondent leurs lettres. »

Seulement le temps a marché et ce sont des moules propres à donner immédiatement des clichés que l'on obtient.

Nous devons cependant être juste : le mode d'opérer de M. Flamm est plus simple et plus rapide que celui de ses devanciers. Aussi nous le félicitons, non comme inventeur d'un procédé nouveau, mais pour avoir perfectionné un procédé qui existait depuis quatre-vingts ans, et qui avait cessé d'être en usage.

Le compositeur typographe-mécanique de M. Flamm pourra rendre de véritables services partout où il s'agira d'obtenir rapidement l'exécution de travaux de peu d'importance mais pressés, et cela d'autant plus que les empreintes obtenues peuvent, par une simple modification, être tirées aussi bien par les presses lithographiques que par celles employées dans la typographie.

AUG. JEUNESSE,
Secrétaire de la rédaction des *Annales du Génie civil*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XLI

MOTEURS HYDRAULIQUES

PAR MM. L. VIGREUX ET A. RAUX.

Ingénieurs civils.

Planches 86 et 221.

CHAPITRE TROISIÈME[1]

MACHINES A COLONNE D'EAU.

Cette classe de récepteurs est généralement établie pour utiliser de petits volumes d'eau et de très-hautes chutes.

Ils s'emploient le plus souvent à l'élévation de l'eau ou plutôt à la mise en mouvement de pompes d'épuisement.

Dans ce cas, le récepteur se compose, comme parties essentielles, d'un cylindre et d'un piston animé d'un mouvement alternatif; la tige du piston transmet directement ce mouvement à la pompe.

On voit immédiatement que la construction des machines à colonne d'eau se rapproche beaucoup plus de celle des machines à vapeur à mouvement alternatif que de celle des récepteurs hydrauliques précédemment examinés. Toutefois, ces machines à colonne d'eau présentent des dispositions particulières dans les appareils de distribution, et elles ont donné lieu à plusieurs dispositions fort ingénieuses et remarquables que nous décrirons plus loin.

En outre, on n'y dispose pas de deux artifices propres à faire varier la puissance d'une machine à vapeur, savoir : la *détente* et la *variation de la pression*. — L'eau étant incompressible ne peut se détendre, et si l'on faisait varier la pression, on diminuerait la chute utilisée sans réduire proportionnellement le volume d'eau dépensé (qui est toujours égal au volume engendré par le piston); on diminuerait donc le rendement du récepteur, ce qui serait mauvais. Les variations de la chute, et par conséquent de la pression, ne doivent être qu'une fraction pour ainsi dire inappréciable de la chute totale ; aussi les machines à colonne d'eau ont-elles été réservées aux grandes chutes. — A la vérité, M. Girard en a étudié l'application aux basses chutes, mais cette idée ne s'est pas encore acclimatée dans l'industrie.

Quant au mode d'action de l'eau, ces récepteurs se divisent en deux classes : les machines à simple effet et les machines à double effet ; les premières sont verticales, et les secondes, horizontales.

Les machines à colonne d'eau verticales, à action directe et à simple effet, travaillent soit à la descente, soit à la montée ; dans le premier cas, l'eau motrice

[1] Voir les deux premiers chapitres, tome III des *Études sur l'Exposition*, page 126. Ces deux chapitres sont accompagnés des planches 80, 81, 82, 83, 84 et 85.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'est introduite que sur la face supérieure du piston ; dans le second cas, elle n'est introduite que sous sa face inférieure.

La machine à colonne d'eau de l'ingénieur Reichenbach, établie à Illsang (Bavière), est le type le plus ancien et le plus remarquable des machines à simple effet, travaillant à la descente.

Nous devons rappeler que la machine à colonne d'eau est d'invention française. En 1739, la ville de Paris voulant élever 100 pouces d'eau de Seine, place de l'Estrapade, il lui fut présenté un devis estimant que l'intérêt d'une *machine à feu*, joint aux dépenses journalières, formerait une dépense annuelle de 100,000 francs. Belidor imagina et proposa une machine à colonne d'eau et demanda seulement 18,000 francs une fois payés. Cependant sa machine ne fut exécutée qu'en 1749, à Schemnitz (Hongrie).

Maintenant, revenons à la description de la machine de Reichenbach, que représente, en coupe verticale, la figure 1 de la planche 221.

Pour éviter des longueurs inutiles, nous nous contenterons d'en donner ici une légende explicative.

A, tuyau d'amenée de l'eau motrice ; une valve *o* sert à régler la vitesse de la machine, c'est-à-dire la dépense de l'eau ; moyen acceptable, quand on a de la chute en excès, mais mauvais en principe, puisque la fermeture partielle de la valve produit un étranglement.

a, robinet purgeur d'air ; quand on l'ouvre, avant la mise en marche de la machine, on ferme le robinet *b*, et quand la machine est purgée d'air, on ferme le robinet *a* et on ouvre le robinet *b*.

E, tuyau de sortie de l'eau qui a travaillé ; sur la figure, la communication entre ce tuyau et le cylindre moteur est interrompue par le piston H ; et la communication entre ce même tuyau et le cylindre C est établie.

A la mise en train, le piston moteur B étant au haut de sa course, les pistons solidaires K, G, H sont remontés de telle façon que le piston H occupe la position H'. On manœuvre à la main les pistons *p* et *p'* (qui sont en étain), et l'on découvre l'orifice *o* pour le mettre en communication avec le tuyau de sortie E.

Le piston K est d'un diamètre un peu plus petit que les pistons H et G, qui sont égaux, et le dessus de ce piston est en communication avec l'eau motrice par un tuyau qui débouche en *o'*. La valve O étant ouverte, la pression de l'eau motrice fait descendre les trois pistons K, H, G, et le piston H découvre l'orifice de communication avec le piston moteur B ; ces trois pistons occupent dès lors les positions indiquées sur la figure. Comme le piston S, qui est en constante communication avec l'eau motrice par le tuyau P', est d'un diamètre beaucoup plus petit que le piston moteur B, celui-ci descend et fait descendre, par conséquent, le piston U de la pompe ; celle-ci refoule l'eau à élever dans la colonne ascensionnelle.

Un peu avant que le piston B soit parvenu au bas de sa course, un taquet *t'* agit sur un levier *l* qui relève les pistons *p* et *p'* et les place de telle façon que l'orifice *o* est mis en communication avec le tuyau T, qui amène l'eau motrice. Il résulte de cette manœuvre que, dès que le piston B est au bas de sa course, le dessous du piston G est en communication avec l'eau motrice ; les pressions sur les faces des pistons G et H se font donc équilibre ; mais comme la tige supérieure du piston K est d'un diamètre un peu plus gros que celui de sa tige inférieure, l'eau motrice relève les trois pistons et les replace dans leur position primitive. Le dessus du piston B est en communication avec le tuyau d'échappement E, et la pression sous le piston S relève ce piston et, par conséquent, le piston moteur B, ainsi que le piston U de la pompe.

Quand le piston moteur est remonté dans la position qu'il occupe sur la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

figure, un taquet inférieur t a manœuvré le levier l pour descendre les pistons p et p' et faire recommencer à la machine la course descendante.

La pression de l'eau motrice est de 116 mètres ; la course des pistons B et U est de $1^m,05$; la machine donne 2 coups $\frac{15}{100}$ par minute, et l'eau salée est élevée par la pompe à une hauteur de 378 mètres (y compris l'aspiration); la course des pistons K, H et G est de $0^m,330$.

Le volume d'eau motrice dépensé en une course double (une descente et une montée) se décompose ainsi :

1° Pour la descente, on dépense une cylindrée du piston B :

$\frac{\pi}{4} \times \overline{0,720}^2 \times 1^m,05$ ..... 428 litres.

2° Pour changer le sens du mouvement, on dépense une cylindrée du piston G : $\frac{\pi}{4} \times \overline{0,235}^2 \times 0^m,33$ ..... 13 »

3° Pour faire remonter les pistons S, T, U, on dépense une cylindrée du piston S : $\frac{\pi}{4} \times \overline{0,285}^2 \times 1^m,05$ ..... 67 »

4° Pour changer le sens du mouvement, c'est-à-dire pour déterminer l'ascension des trois pistons S, T, U, on ne dépense que la différence entre une cylindrée de G et une cylindrée de K : $\frac{\pi}{4}\left(\overline{0,235}^2 - \overline{0,195}^2\right) \times 0^m,33 = 4^{lit},15$, soit ..... 5 »

510 litres.

Dépense totale en eau motrice (eau douce), soient 500 litres en nombre rond.

Travail moteur en chevaux par seconde :

$$Tm = \frac{500^k \times 116^m \times 2^c,15}{60 \times 75^{kg}} = 28 \text{ chevaux.}$$

La pompe U élève par coup 67 litres $\left(\frac{\pi}{4} \times \overline{0,285}^2 \times 1^m,05 = 67 \text{ litres}\right)$, pesant environ $1^k,200$ le litre, à une hauteur de 378 mètres. Le travail effectif par seconde et en chevaux est donc :

$$Te = \frac{80^k \times 378^m \times 2^c,15}{60'' \times 75^{kg}} = 14 \text{ chevaux.}$$

Le rendement *en eau montée* est donc de 50 p. 100.

Ces calculs ne sont qu'approximatifs, puisqu'ils supposent que le volume engendré par les pistons est bien le volume dépensé ou élevé, et qu'il y a absence complète de fuites.

La machine à colonne d'eau établie par M. Jüncker, aux mines du Huelgoat (Finistère), et que représente, en coupe verticale, la figure 2 de la planche 224, est une imitation de celle de Reichenbach.

Toutefois, elle est beaucoup plus puissante et plus rigide ; le puits dans lequel elle a été établie ne laissait disponible qu'un espace restreint, et son installation a nécessité, par conséquent, l'étude de dispositions spéciales ; enfin, la pompe qu'elle devait actionner étant située à une grande profondeur au-dessous de la machine, il a fallu équilibrer une longue tige pesante. Cette dernière circonstance a amené M. Jüncker à ne faire travailler la machine qu'à la montée, afin que la tige fût soumise à l'extension en transmettant à la pompe le travail nécessaire à l'élévation de l'eau.

De ce que la machine du Huelgoat ne travaille qu'à la montée, il résulte que la partie supérieure du cylindre moteur est découverte et qu'ainsi les fuites du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

piston peuvent facilement s'apercevoir, ce qui n'a pas lieu dans la machine de Reichenbach.

Afin d'assurer la permanence du service d'épuisement, M. Jüncker a établi deux machines identiques, l'une devant fonctionner quand l'autre serait en réparation.

La galerie d'écoulement de l'eau motrice est située à 14 mètres au-dessus des machines ; de telle sorte que le poids de tout l'attirail se trouve équilibré, pour la montée, par une colonne d'eau de 14 mètres de hauteur, ayant pour base la section du piston moteur.

L'arrivée et la sortie de l'eau motrice (et, par conséquent, la vitesse de la machine) se règlent au moyen du piston G.

Sur la figure, ce piston est dans sa position moyenne ; il ferme l'orifice C d'introduction de l'eau sous le piston moteur.

Pour mettre la machine en train, on ouvre le robinet R, qui fait communiquer avec le tuyau d'arrivée A de l'eau motrice, l'intervalle des deux pistons p, p de même diamètre ; le robinet c est également ouvert. Pour que les pistons p et p' puissent être facilement amenés dans la position indiquée par la figure, c'est-à-dire de façon à découvrir l'orifice du tuyau oo, qui fait communiquer le tuyau a avec le dessus du piston H, un tuyau t établit la communication entre les deux faces du piston p ; le diamètre de la tige i de ce piston est tel que la pression de l'eau sur la surface annulaire du piston p autour de la tige i est justement égale à la contre-pression sous le piston p'.

La manœuvre effectuée à la main sur les pistons p et p' met en communication les deux faces du piston H, et comme la surface annulaire de la face supérieure du piston H, augmentée de la section du piston G, est un peu supérieure à l'aire de la face inférieure du piston H, l'eau motrice fait descendre l'ensemble des pistons K, H et G et détermine l'ouverture de l'orifice C, par lequel s'introduit l'eau motrice sous le piston B de la machine. La boule s, qui termine le prolongement de la tige du piston G, pénètre dans un petit cylindre v alésé à un diamètre tant soit peu plus grand que celui de cette boule; l'eau renfermée dans ce cylindre amortit la descente de l'ensemble et évite le choc.

Quand le piston B est sur le point d'arriver au haut de sa course, un système de taquets et de leviers soulève les pistons p et p', de façon à faire communiquer le tuyau oo avec le tuyau d'échappement ee.

Cette manœuvre détermine l'ascension du piston G qui repasse devant la lumière C et s'élève ensuite au-dessus, afin de mettre la face inférieure du piston B en communication avec la conduite E d'émission de l'eau. Le piston B descend alors, et un autre système de taquets ramène les pistons p et p' dans la position indiquée sur la figure, quand le piston B est parvenu au bas de sa course.

Nous devons faire remarquer que le passage du piston distributeur devant l'orifice C a pour effet d'arrêter un instant le piston moteur B, quand il est parvenu soit au haut, soit au bas de sa course. Les points *morts* de la pompe sont ainsi *très-marqués*, circonstance très-favorable, puisqu'elle donne aux soupapes le temps de se fermer. En outre, cette disposition a aussi pour effet d'opérer très-lentement le départ du piston B dans l'un ou l'autre sens ; les soupapes ont donc aussi le temps de s'ouvrir entièrement avant que le piston de la pompe ait acquis sa vitesse.

Enfin, on peut arrêter la machine à un instant quelconque de sa course et faire varier cette course suivant les besoins.

La machine à colonne d'eau de M. Jüncker est donc la plus parfaite de toutes celles qui fonctionnent actuellement.

MACHINE A COLONNE D'EAU, HORIZONTALE, A DOUBLE EFFET, DE M. PFETSCH, ÉTABLIE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A LA SALINE DE SAINT-NICOLAS, VARENGEVILLE (Meurthe). — Cette machine, représentée en coupe verticale sur la figure 3 de la planche 221, actionne directement une pompe horizontale à double effet, à l'aide de la tige T.

La machine étant à double effet comporte deux pistons distributeurs g et h (le second étant d'un diamètre un peu supérieur à celui du premier), qui mettent successivement chacune des faces du piston B de la machine en communication avec l'arrivée A et avec la sortie E de l'eau motrice.

Les pistons distributeurs se manœuvrent, d'ailleurs, comme dans la machine de M. Jüncker, à l'aide de deux petits pistons p et p' d'égal diamètre.

Dans la position qu'indique la figure, les pistons p et p' mettent en communication la face d'avant du piston K avec l'échappement e ; les pistons distributeurs g et h (montés sur la même tige), se sont alors placés dans la position qu'indique la figure, de telle façon que le piston B va marcher dans le sens de la flèche.

En arrivant vers la fin de sa course, le piston B agit sur la tringle t et place les pistons p et p' de telle sorte que les orifices o et a soient compris entre eux ; il en résulte que l'eau motrice presse sur la face antérieure du piston K ; cette circonstance détermine le recul des pistons g et h ; de telle sorte que la lumière antérieure du cylindre moteur est en communication avec l'arrivée A de l'eau motrice, et que la lumière postérieure est en communication avec l'orifice E du tuyau d'échappement. Le piston B commence alors sa course en arrière, et, parvenu vers la fin de cette course, il agit sur la tringle t pour ramener les pistons p et p' dans les positions qu'ils occupent sur la figure ; ce qui détermine les pistons g et h à se replacer comme l'indique également la figure.

MACHINES A COLONNE D'EAU A ROTATION. — Les machines à colonne d'eau ont été employées depuis plusieurs années pour déterminer la rotation d'un arbre. Elles se sont beaucoup répandues en Angleterre depuis l'Exposition de 1851, notamment dans les mines de plomb du Nord, pour l'extraction et la préparation mécanique des minerais.

L'ingenieur Armstrong, de Newcastle-upon-Tyne, a, pour ainsi dire, la spécialité de ces machines à colonne d'eau à rotation et à double effet, qu'il emploie pour manœuvrer des treuils.

Ces machines comprennent, comme parties essentielles :

Deux cylindres horizontaux, dont les pistons actionnent deux manivelles conjuguées à angle droit ;

Un appareil de distribution comprenant, pour chaque cylindre, un tiroir *normal*, c'est-à-dire sans avance ni recouvrement, qu'il faut régler avec beaucoup de précision à cause de l'incompressibilité de l'eau.

Ces machines présentent entre le diamètre et la course des pistons les proportions ordinaires des pompes à eau, et elles marchent à une faible vitesse, qui est généralement inférieure à 20 tours par minute.

Le tuyau d'arrivée de l'eau motrice doit être muni des dispositions nécessaires pour éviter les coups de bélier, savoir : d'un réservoir d'air, ou de soupapes de sûreté, ou d'un piston plongeur chargé de poids et mobile dans un corps de pompe établi près de la machine et en communication avec le tuyau d'arrivée.

Le mouvement des tiroirs est donné à l'aide de la coulisse de Stephenson, qui permet de renverser la marche de la machine, de façon à pouvoir faire tourner l'arbre tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre.

Si le renversement de la marche n'est pas nécessaire, la distribution peut se faire simplement à l'aide d'un robinet R à trois eaux (*fig.* 4, pl. 221) Dans la position qu'indique la figure, la lumière l communique avec l'arrivée a de l'eau ; tandis que la lumière l communique avec l'échappement e, le piston B marche dans le sens de la flèche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est indispensable que l'eau employée dans ces machines soit complétement débarrassée des graviers et autres corps en suspension, qui altéreraient promptement les parties frottantes.

M. Armstrong a construit aussi des machines triples, à double effet, dont les trois pistons actionnent trois manivelles conjuguées à 120 degrés.

Nous citerons, comme exemple, la machine à colonne d'eau de 8 chevaux, établie aux Docks de Marseille. Elle est à rotation et comprend trois cylindres horizontaux, oscillants et actionnant un arbre coudé.

L'axe creux de chaque cylindre oscillant reçoit l'eau motrice d'un côté, et de l'autre, commande son tiroir, qui est entièrement détaché du cylindre.

Ces cylindres ont $0^m,107$ de diamètre intérieur, et la course des pistons est de $0^m,304$. Comme la machine fait 20 tours par minute, il en résulte que la vitesse moyenne des pistons n'est que de $\frac{0^m,304 \times 2 \times 20^t}{60''} = 0^m,203$ par seconde.

L'Exposition de 1867 renfermait deux spécimens de machines à colonne d'eau horizontales, à double effet et à rotation. L'un est dû à M. Coque, de Paris, et l'autre à M. Perret, de Lyon. Ils ne présentaient d'ailleurs aucune disposition nouvelle et étaient destinés à être utilisés, au moyen d'une concession d'eau, par la petite industrie.

Nous espérons que nos lecteurs nous approuveront d'avoir complété l'Exposition sous ce rapport, en leur décrivant les principales et grandes machines à colonne d'eau qui ont servi de type aux autres.

CHAPITRE QUATRIÈME

BÉLIERS HYDRAULIQUES.

Le bélier hydraulique, dont tout le monde connaît le principe et le mode d'action, s'emploie uniquement pour élever de l'eau. Il peut donc entrer dans la classe des appareils à élever l'eau ; toutefois, comme il utilise, dans ce but, un volume d'eau tombant d'une certaine hauteur, c'est-à-dire une chute d'eau, il doit être aussi considéré comme un *récepteur hydraulique*.

Nous ne décrirons pas ici le bélier classique de Montgolfier, que tout le monde connaît ; mais nous allons examiner tout d'abord le bélier perfectionné de M. Bolée, du Mans (Sarthe), qui figurait et fonctionnait même à l'Exposition. Ce bélier, représenté dans son ensemble et ses détails sur la planche 86, n'est autre que le bélier de Montgolfier muni de certaines dispositions de détail qui lui assurent un fonctionnement régulier et permanent et dispensent, pour ainsi dire, de toute surveillance.

L'eau motrice arrive par le tuyau A, et l'eau élevée est refoulée dans le réservoir d'air D, d'où elle s'écoule par la conduite ascensionnelle, dont l'amorce est représentée sur les figures 1 et 3.

Quand le bélier ne fonctionne pas, la soupape B est descendue ; elle livrerait passage à l'eau si l'on n'avait soin d'établir une vanne ou un obturateur quelconque en tête de la conduite qui amène l'eau du bief d'amont au corps A du bélier.

Supposons que l'on ouvre cette vanne, l'eau va se mettre en mouvement dans la conduite, et le bélier va se mettre en marche, en présentant successivement et périodiquement les trois phases suivantes :

Première phase. — L'eau qui arrive par la conduite d'amenée commence à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

s'écouler avec une vitesse due à la hauteur de la chute, par la soupape B (qui est descendue), et par les intervalles existant entre les quatre bras *t* du guide supérieur de cette soupape (voir la *fig.* 4) ; mais l'écoulement même de l'eau et la pression qu'elle exerce en mouvement sur la face inférieure de la soupape détermine la fermeture de cette soupape, et la sortie de l'eau cesse.

Deuxième phase. — A l'instant où cesse la sortie de l'eau, la puissance vive que possède la colonne d'eau en mouvement produit le *coup de bélier*, c'est-à-dire détermine l'ouverture du clapet de retenue (ou de refoulement) G ; alors l'eau pénètre dans le réservoir d'air D, en même temps que l'eau, par l'effet même du choc sur le clapet G et en vertu de son élasticité, prend un mouvement rétrograde dans le corps A du bélier.

Troisième phase. — A l'instant où commence le mouvement rétrograde de l'eau, le clapet G se ferme et la soupape B s'ouvre pour livrer de nouveau passage à l'eau venant du bief d'amont ; alors la série des trois mêmes phases recommence.

La marche du bélier étant expliquée, il ne nous reste plus qu'à en examiner les détails de construction.

La soupape B est équilibrée en partie par un contre-poids *c*, auquel elle est rattachée à l'aide d'une tringle verticale *b*. Cette addition, qui n'existe pas dans le bélier de Montgolfier, a pour résultat de permettre une fermeture très-prompte de la soupape B. Ainsi que le montre la figure 4, la tige inférieure de cette soupape est guidée dans un petit cylindre présentant deux ouvertures latérales, et dont le fond est garni de rondelles de caoutchouc. Il en résulte qu'en retombant, la soupape ne frappe pas brusquement contre son arrêt inférieur et ne produit aucun bruit.

Pour que le bélier fonctionne bien et qu'il ne puisse se produire aucune rupture, soit dans la conduite d'amenée, soit dans la conduite ascensionnelle, il est indispensable que le réservoir D renferme constamment un volume d'air suffisant.

Or, dans le bélier ordinaire de Montgolfier, le réservoir est alimenté par un *reniflard* d'air établi sur le corps même du bélier; il en résulte que, dans les crues, ce reniflard étant noyé, l'alimentation d'air cesse, de telle sorte que les ruptures sont à craindre.

M. Bolée a remédié radicalement à cet inconvénient de la façon suivante :

En avant de la soupape B, il établit une longue colonne creuse verticale *e* (voir *fig.* 1 et 3), dont le sommet est assez élevé pour n'être jamais atteint par les plus hautes crues d'aval.

Le détail de la tête de cette colonne se voit sur la figure 7. Elle est munie d'un *reniflard* d'air dont l'ouverture est réglée par la vis à pointe *m* et d'une soupape de retenue *s* ; un tuyau *e'* fait communiquer la chambre de cette soupape avec le corps du bélier ; ce tuyau débouche au-dessous du clapet G en E' (voir *fig.* 1), et son orifice est muni d'une seconde soupape à ailettes *s'* (voir le détail, *fig.* 8 et 9).

Au moment où se produit le coup de bélier sous le clapet G, l'eau s'élève brusquement dans la colonne *e* et comprime l'air qui l'occupait ; une portion de cet air s'échappe par le reniflard ; mais l'autre portion soulève la soupape *s* et s'emmagasine au-dessus.

Quand la soupape B descend et que l'eau d'amont s'écoule par les orifices de cette soupape, l'eau descend dans l'intérieur de la colonne *e*, et l'air extérieur entre par le reniflard.

La soupape à ailettes *s'* empêche l'air comprimé qui l'environne de rentrer dans le tuyau *e'*, parce qu'elle ferme l'orifice de ce tuyau sous l'action du coup

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de bélier. L'air comprimé, renfermé dans la chambre de cette soupape, est donc forcé de pénétrer sous le clapet G au moment où celui-ci est ouvert, et cet air s'élève dans le réservoir D.

L'alimentation d'air de ce réservoir s'effectue donc à chaque coup de bélier.

Il est évident que l'importance de la masse d'eau contenue dans le bélier, depuis l'origine de la conduite d'amenée jusqu'au clapet de refoulement, n'est pas indifférente au point de vue de l'effet produit. A cet égard, il n'existe aucune règle bien sérieuse. Suivant certains auteurs, la longueur du corps du bélier, c'est-à-dire celle de la conduite d'amenée, doit être égale environ aux $\frac{3}{4}$ de la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée. Suivant d'autres, cette longueur se prend égale à cette même hauteur augmentée du rapport entre le double de cette hauteur et celle de la chute motrice.

Mais l'une et l'autre de ces règles empiriques sont en contradiction avec les dimensions relevées sur divers béliers existants.

On peut compter en moyenne que, dans un bélier hydraulique bien établi, le rendement, c'est-à-dire le rapport entre le travail effectif en eau élevée et le travail moteur dépensé est de 60 p. 100. C'est un résultat qui ne peut être que difficilement atteint avec le meilleur moteur hydraulique commandant le meilleur système de pompes.

Mais le bélier hydraulique ne peut être construit que pour de très-petites forces ; sans cela, cette machine très-simple serait beaucoup plus répandue.

Bélier d'épuisement de M. Leblanc. — Pour terminer ce qui est relatif aux béliers hydrauliques, nous dirons quelques mots d'une disposition employée pour opérer l'épuisement de l'eau affluant dans une fouille.

Lorsque la quantité d'eau à épuiser est faible, il est intéressant d'utiliser la chute elle-même sur laquelle on fait des travaux hydrauliques, pour opérer l'épuisement des fouilles.

La figure 5 de la planche 221 représente un bélier hydraulique disposé pour un travail d'épuisement. Deux soupapes S, S, sont réunies par un balancier qui oscille autour d'un axe *oo*.

L'eau du bief d'amont, en s'écoulant par l'ouverture découverte par l'une des soupapes, produit l'effet de la trombe et aspire l'eau du bief à épuiser, par le tuyau *nn*. Ce tuyau est muni d'un réservoir d'air *n* et se divise en deux branches S', S', garnies de soupapes de retenue ; chacune de ces deux branches débouche sous le siége de l'une des soupapes S, S.

L'eau aspirée s'écoule dans le bief d'aval de la rivière, avec l'eau motrice, par l'un des tuyaux *d*, *d*.

L'écoulement de l'eau motrice par l'une des soupapes S produit la fermeture de cette soupape et, par conséquent, l'ouverture de la seconde, et réciproquement.

Cet appareil est donc automatique.

Enfin, nous ne pouvons passer sous silence l'application du bélier hydraulique faite au percement du tunnel du mont Cenis, pour comprimer l'air nécessaire à l'aérage des galeries et à la manœuvre des outils perforateurs.

Avant l'établissement des puissantes pompes de compression installées depuis, M. Sommelier, ingénieur de ces travaux, a fait construire une série de béliers hydrauliques fonctionnant sous une chute de 26 mètres. Ces béliers comprimaient à 5 atmosphères l'air nécessaire pour actionner les outils et aérer la galerie et les chantiers de travail.

On peut encore voir fonctionner ces appareils du côté de Bardonnèche (Italie).

L. VIGREUX et A. RAUX.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXIX

CORDAGES

Par M. Eugène PARANT.

On appelle *corde* un corps cylindrique formé par la torsion de plusieurs fils.

Nous avons donné la définition du fil dans le tome Ier des *Études sur l'Exposition*, page 101.

On tire les substances propres à la fabrication des cordes des trois règnes de la nature.

Le règne minéral fournit des câbles de *fer*, des cordes de *laiton*, et, dans la bijouterie, des objets d'*or* et d'*argent*.

Le règne végétal est celui dont s'extrait le plus grand nombre de matières premières propres à faire les cordages: le *chanvre*, le *lin*, des *écorces*, etc., etc.

Le règne animal donne quelques spécialités. Les cordes du *poil de chameau* sont très-employées dans les pays où le chameau est mis à profit pour les transports. On sait que c'est sous forme de cordes que le *crin* est expédié des pays de production. La grande industrie des cordes harmoniques tire, comme nous le verrons, ses éléments du règne animal.

Nous disons que le règne végétal est celui qui produit la plus grande variété de fibres qui conviennent à la fabrication des cordages. Ajoutons que c'est ordinairement le *chanvre* qui est principalement employé.

Généralement, les chanvres de qualité inférieure, ceux dont la fibre est la plus grosse, sont choisis pour la confection des cordes, les meilleurs servant plutôt, concurremment avec le lin, à faire la toile.

Il serait difficile de faire un choix, sous le rapport de la provenance, parmi les chanvres des contrées qui en produisent.

Les cordes, encore produites, aujourd'hui, en grande partie à la main, se font bien partout où l'on récolte le chanvre. Un cordier, par son tour de main, sait, avec le chanvre de son pays, exécuter une corde qui réalise les conditions de bonne qualité qu'un autre cordier obtient ailleurs avec d'autre chanvre.

Nous n'essayerons pas d'entreprendre l'historique de l'industrie des cordages ni d'entrer dans les détails de leur usage. On peut dire que de tout temps, en tous lieux, et dans toutes les industries, on s'est servi de cordes; ne citons qu'un exemple: pour l'alimentation, n'a-t-on pas toujours fabriqué des filets de pêcheur à l'aide de cordes? Les cordes ont été contemporaines de nos premiers pères.

Si, depuis les premiers temps, l'intelligence humaine s'est exercée à perfectionner les produits, à aucune époque, on n'est parvenu à réussir comme aujourd'hui, et aucune nation n'est arrivée à un meilleur résultat que la France. Notre Exposition universelle de 1867 vient de le prouver, comme l'avaient déjà démontré les précédentes exhibitions, y comprise celle de 1851. C'est à la maison *Fr. Besnard et Genest*, d'Angers, que nous devons l'incontestable supériorité de nos cordages sur toutes les autres nations.

Les cordages se composent de fils simples nommés *fils de caret*. Tout ce qui se produit en cordages a pour élément le fil de caret.

Nous ne pouvons pas énumérer tous les noms spécifiques donnés aux corda-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ges d'après leur emploi. Des cordes semblables portent des noms différents, selon leur destination ; et même, destinées aux mêmes usages, elles changent de dénomination, d'après les dialectes et les patois. Nous nous contenterons de faire connaître l'appellation, en quelque sorte scientifique, des principales formes données aux cordages.

On appelle *ficelles* les plus petits cordages. Elles sont composées souvent de deux fils commis ensemble. (Donner la torsion aux cordages s'appelle *commettre*.)

On nomme *merlins* ou *lignes* les cordages à trois fils.

Le nom de *toron* est donné au cordage dont l'assemblage des fils est de deux à soixante tordus ensemble.

Plusieurs torons tordus ensemble forment une *haussière*.

Si l'on tord plusieurs haussières ensemble, le cordage obtenu porte le nom de *grelin*.

Si les termes dont nous venons de nous servir sont ceux généralement admis, il faut dire que les mêmes noms sont souvent qualifiés d'après leur fonction. C'est ainsi que pour les lignes, on a : 1° les lignes à *tambour*, ou cordes pour la tension des peaux d'âne des tambours de régiments ; 2° les lignes de *sonde* pour mesurer la profondeur de la mer ; 3° les lignes de *lock* qui tiennent le lock servant à connaître la rapidité de la marche des navires ; 4° les lignes d'*amarrage* pour divers usages maritimes.

Nous ne nous étendrons pas sur ces exemples.

Lorsque le chanvre a été roui et teillé, qu'il est en *filasse*, comme nous avons vu tome III des *Études*, page 106, il est livré au *cordier*.

Les opérations qu'on lui fait subir à la corderie peuvent se résumer au nombre de quatre :

Le peignage, le filage, le tordage, l'apprêt.

Le peignage a pour but : 1° de fendre les fibres du chanvre afin d'en multiplier le nombre et d'en augmenter la finesse ; 2° d'enlever les parties les moins tenaces ; 3° d'établir entre les fibres un parallélisme qui les sépare et facilite au cordier le glissement dans la mise bout à bout.

Le filage consiste à assembler les fibres en quantité suffisante pour former l'élément dont nous avons parlé sous le nom de fil de caret.

Le tordage sert à réunir les fils obtenus par le filage, de manière à donner au cordage sa solidité, son diamètre, sa destination.

L'apprêt donne au cordage sa flexibilité, sa régularité, son aspect, et sert souvent à le préserver des intempéries.

Du peignage. — Pour peigner le chanvre, pour lui donner sa finesse, le séparer des corps qui nuiraient au travail, et établir le parallélisme entre ses fibres, on a recours au *peigne* ou *seran*.

Les peignes se composent de pointes coniques d'une longueur et d'une épaisseur variables, distribuées verticalement en quinconce sur une planche de bois épaisse, horizontale, assujettie à une table fixée à un bâti solide.

Le nombre des dents varie en raison de la finesse à obtenir et de la division à donner aux fibres. Comme il faut arriver progressivement à la finesse voulue, les cordiers emploient successivement plusieurs peignes. Les dents sont d'autant plus rapprochées que l'on arrive vers la finesse exigée. On n'a pourtant, dans le plus grand nombre des cas, que deux peignes : en gros et en fin. Le diamètre des dents diminue avec leur rapprochement.

La figure 1, page suivante, représente un peigne de cordier.

L'opération du peignage est fort simple. L'ouvrier prend une *peignée* de filasse, qu'il ploie en deux, tourne autour du poignet droit l'une des extrémités, et jette l'extrémité pendante sur les pointes aiguës du peigne. Il répète plusieurs fois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'opération, en appuyant à chaque fois la main gauche sur la filasse, et en tirant à lui des deux mains la masse. Il obtient ainsi la division des filaments. Quand la portion qu'il a soumise au travail est peignée, il la tourne autour de son poignet droit, et agit sur l'autre portion de la même façon.

Les fibres, en se fendant, laissent entre les dents du peigne les parties moins

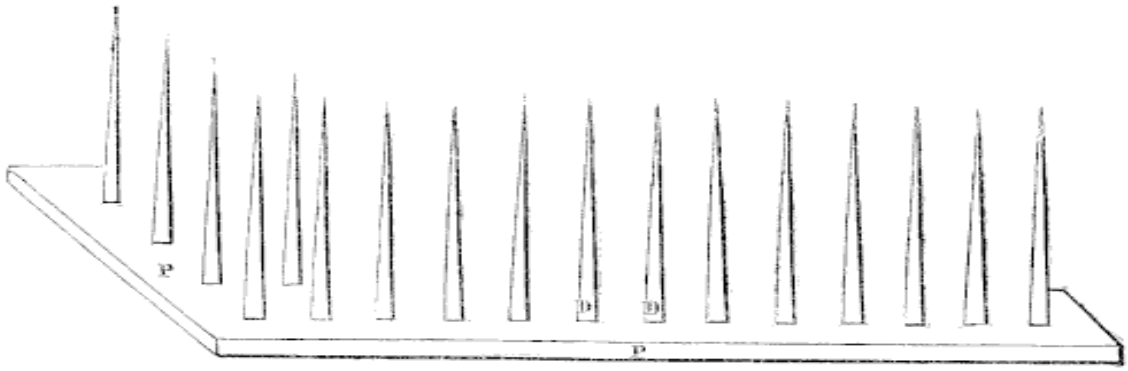


Fig. 1. — Peigne.

P, planche. — D, dents.

nerveuses, qui servent ensuite à des cordes plus communes. Les parties corticales restant du broyage tombent en poussière, et il ne reste entre les mains du cordier qu'une filasse nerveuse et épurée.

Du filage. — Pour commettre le fil de caret, le cordier se sert d'un rouet pour obtenir un certain degré de torsion entre les filaments, qui se trouvent ainsi liés ensemble après qu'avec les doigts il a fait glisser les fibres pour leur faire occuper leur place. Il y a donc deux temps dans l'opération du filage : 1° glissement des fibres ; 2° torsion des filaments.

Le rouet se compose d'une roue mue par un enfant au moyen d'une manivelle. Sur cette roue est une corde qui transmet le mouvement à des poulies cylindriques, à plusieurs gorges, percées dans leur axe par une pointe de fer terminée à son extrémité extérieure par un crochet ; cette poulie se nomme *molette*. Les poulies ont plusieurs gorges. Elles sont distribuées de telle sorte que l'une reçoit le mouvement du rouet et le communique aux autres par le retour de la corde sur la roue.

Ainsi, ayant trois molettes, la plus éloignée de la roue est placée sur le même plan que la plus rapprochée, et la troisième est posée en élévation et au milieu des deux autres. La corde du rouet partant du dessous de la roue va d'abord en dessous de la molette la plus éloignée, et, suivant une gorge de la poulie, va s'appuyer sur la molette du milieu en suivant une gorge de la poulie, puis passe dans une gorge de la poulie la plus rapprochée de la roue, et, passant en dessous de cette poulie, revient dans une autre gorge de la poulie du milieu pour retourner à la roue.

Le cordier accroche à l'un des crochets de molette quelques filaments de filasse, et, en s'éloignant à reculons, fait glisser les fibres en quantité voulue pour obtenir la grosseur de son fil de caret. A cette fin, il jette sous son bras gauche une petite portion du chanvre contenu dans son tablier, attire petit à petit ce chanvre dans sa main droite, qui, pendant que la main gauche soutient le fil qui se forme, procède à l'alignement. Le chanvre avance par un mouvement du pouce et du médium, étant placé entre ces deux doigts en passant sur le côté de l'index qu'il parcourt sur la deuxième phalange. Le cordier marche, le fil de caret se forme, et, la roue tournant, les filaments ne se quittent plus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

S'il est dans l'industrie une profession où la grande pratique est indispensable à l'ouvrier pour la réussite des produits, c'est assurément dans celle du cordier. Il faut que, pour la production du fil de caret (comme plus tard, dans le tordage), la vitesse du rouet soit réglée de manière à être d'accord avec la marche du cordier. Si le cordier voulait ralentir le pas, il faudrait que le tourneur diminuât sa vitesse ; et, si le tourneur diminuait sa vitesse, il faudrait que le cordier ralentît sa marche, et, réciproquement, le tourneur devrait augmenter sa vitesse si le cordier accélérait sa marche, ou le cordier marcherait plus vite si le tourneur l'y obligeait par une vitesse plus grande. C'est de la routine.

Le cordier, en travaillant, parcourt une distance relativement considérable ; quelquefois sa course est de 50 mètres et plus. L'habitude du travail est telle qu'arrivé à cette distance, le diamètre et la torsion du fil de caret sont les mêmes qu'au début.

La figure 2 représente l'ensemble du rouet avec ses molettes et son bâti.

La figure 3 représente une molette.

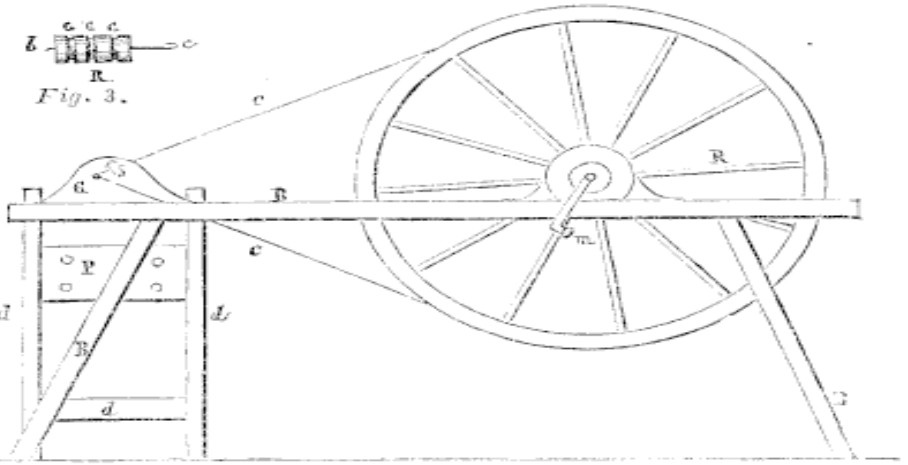


Fig. 2.

Fig. 2. — Rouet.

R, roue.
m, manivelle pour faire tourner.
G, molette.
C, corde du rouet communiquant au rouet et aux molettes.
B, bâti.
P, est une planchette dont nous verrons l'emploi.
d, est le bâti de cette planchette.

Fig. 3. — Molette.

R est une poulie à gorges G, G, G.
b est un axe en fer qui traverse la noix dans le sens longitudinal.
c est un crochet auquel le cordier attache la première mèche de chanvre.

Ce métier, qui est tout primitif, est susceptible de perfectionnement.

Les grands établissements ont des rouets dont chacun fournit du travail à dix fileurs. Nous n'entrerons pas dans les détails des divers modes de fabrication, nous contentant d'indiquer le principe par la démonstration du métier le plus vulgaire.

Lorsque le cordier a fait une certaine quantité de fil de caret, il le plie autour de l'axe d'un chevalet, afin de l'emmagasiner pour le reprendre quand il passera au tordage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Du tordage. — Le métier qui sert à fabriquer le fil de caret sert aussi, dans la petite industrie, à finir le cordage. C'est le même rouet, et, quand ce ne sont pas les mêmes molettes, c'est un système semblable qui est communément employé pour le tordage. Dans la grande industrie, où l'on applique la division du travail, — ce qui est une cause de perfectionnement des produits, — les métiers à tordre sont un peu différents des métiers à filer.

Tandis que, pour obtenir le fil de caret, une seule molette fonctionne pour un seul ouvrier, pour former le tors, le toron, plusieurs molettes sont nécessaires. Leur nombre est égal au nombre des fils de caret devant former le cordage. Le nombre en est variable. Avec le rouet dont nous avons donné la description, on ne peut avoir que trois fils de caret à la corde, parce qu'il n'y a que trois molettes.

Le cordier attache donc au crochet de chaque molette un fil de caret, et pour former le tors marche en arrière. Le tourneur fait mouvoir sa roue en sens inverse de la direction qu'il a donnée pour le fil de caret, et le cordier, reculant en arrière, assemble les fils de caret dont il va faire une corde ; il arrive à un *émérillon*. C'est un petit crochet auquel l'ouvrier accroche les divers bouts de fil de caret afin de les maintenir. Il passe entre les doigts de la main droite les fils et revient vers le rouet.

Il y a une perte en longueur d'environ un tiers par suite de la torsion. Si l'émérillon était fixé, il se romprait immédiatement. Pour éviter cet inconvénient, on a assujetti l'émérillon à une corde tournée autour d'une lanterne qui tient à un bâti au moyen d'un axe. Sur cet axe on a tourné une corde qui tient un poids qui rappelle à sa première position la lanterne de l'émérillon, quand toute la longueur de la corde de l'émérillon a été développée.

Les figures 4 et 4ᵇ représentent cet ensemble.

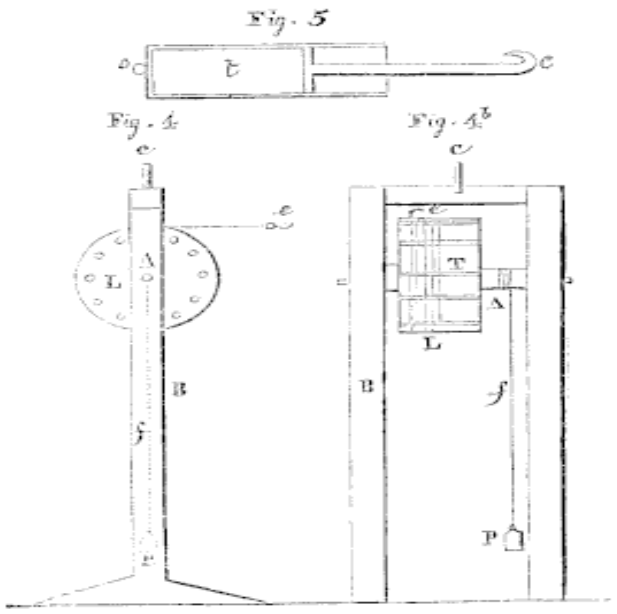
La figure 5 est l'émérillon.

Fig. 4 et 4ᵇ — Émérillon et son bâti.

s, est l'émérillon.
J, corde qui a l'émérillon à une extrémité.
L, lanterne autour de laquelle s'enroule la corde T.
A, axe de la lanterne.
f, ficelle s'enroulant autour de l'axe de la lanterne L, où elle est fixée par une extrémité ; l'autre extrémité portant un poids P qui monte à mesure que se développe J.
c, cheville à laquelle le cordier fixe les longueurs de cordage fait.
B, est le bâti.
t, tube en laiton.

Fig. 5. — Émérillon.

c, crochet se mouvant dans le tube *t*, *a* au bout duquel on accroche le fil de caret à retordre.
o, attache de l'émérillon.



La torsion se règle alors d'après la marche de l'ouvrier et la vitesse du rouet.

Quand le cordier a fait une corde de la longueur de son atelier, il recommence.

Comme cette longueur est telle que la corde toucherait le sol si elle n'était pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soutenue, on plante de distance en distance des supports dont la figure 6 donne la forme.

Fig. 6.

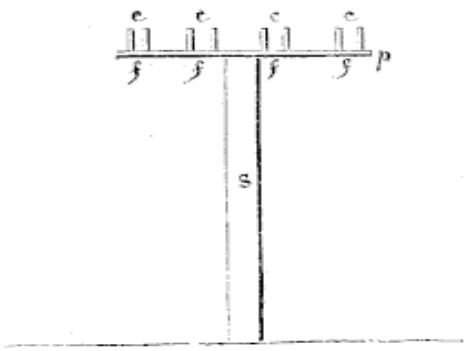


Fig. 6. — Support des cordes en fabrication.

S, support vertical d'une planchette *p*, sur laquelle sont fichés des clous *c*; *f* est la position du cordage supporté.

La figure 7 représente l'ensemble de la fabrication d'une corde.

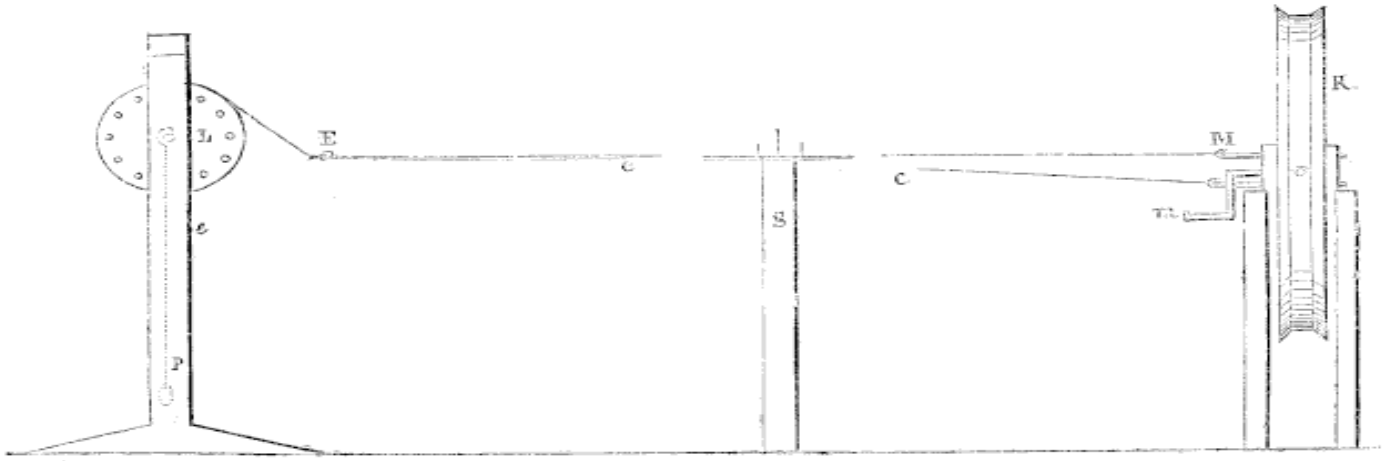


Fig. 7.

Fig. 7. — Ensemble du rouet et de l'émérillon.

R, rouet dont *m* est la manivelle.
M, molette.
C, le cordage en confection.
S, le support de la fig. 6.
E, émérillon.
e, bâti de l'émérillon dont L est la lanterne, et P le poids.

Des cables. — L'ouvrier qui fait un câble fixe son chevalet (formé de deux croix de Saint-André double dont les deux croix sont réunies par un axe qui leur est perpendiculaire, et au milieu), et réunit autant de fils de caret qu'il en veut au toron, et autant de réunions de fils qu'il veut de torons au câble; puis il tourne ensemble tous les fils; il se forme autant de torons qu'il y a de réunions de fils de caret. Ensuite, il réunit les torons. C'est une opération en deux temps : 1° formation des torons; 2° assemblage des torons par la torsion.

Dans la petite industrie, le cordier se fait un bâti de l'extrémité du bâti du rouet pour le travail du câblage. Il place (voir fig. 2), après avoir enlevé la roue qui le gêne, en P, des molettes très-grosses dont nous voyons la réduction au 1/30 aux fig. 8 et 8^{b} en M M; c'est aux crochets MM qu'il assemble autant de fils de caret qu'il en faut pour former un toron.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il existe à l'extrémité *e* des molettes une planchette (fig. 9) percée de trous correspondant à ces extrémités *e*, et un enfant, tenant en main les manchesP, fait tourner tout le système. C'est dur et barbare, surtout pour un enfant [1].

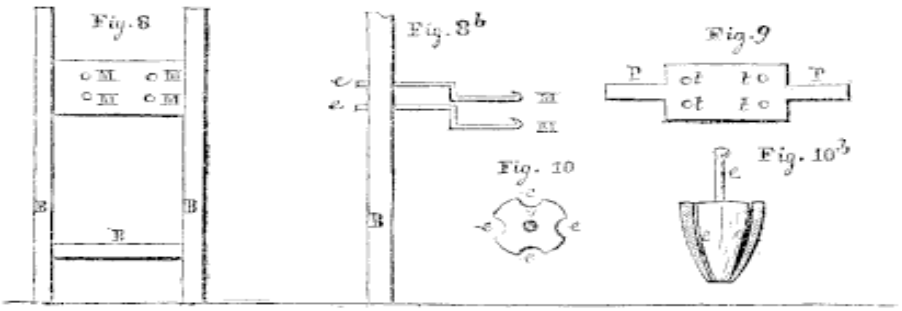


Fig. 8, 8b et 9. — Molette pour câble.

B, bâti.
M, molettes recevant chacune autant de fils de caret qu'il est utile à la formation d'un toron.
e, extrémités de ces molettes qui s'enchâssent dans les trous *t* d'une planchette (*fig.* 9) à manche P, comme il est dit au texte.

Fig. 10 et 10b. — Moule en bois massif.

Fig. 10 est la vue en plan de la base.
Fig. 10b est l'élévation.
V, manche.
e, *e*, *e*, *e*, les échancrures.
Les torons sont dans les échancrures qui les séparent.

Afin d'éviter l'enchevêtrement des torons pendant leur fabrication, le cordier les sépare à l'aide d'un *moule* (fig. 10 et 10 *bis*), sorte de cône qu'il tient horizontalement. Ce cône a plusieurs échancrures de sa base à son sommet ; le sommet est placé dans la distance entre les torons, et le cordier marche en s'éloignant des molettes ; l'enfant tourne, et les torons se forment.

Puis, à l'émérillon, le cordier réunit les torons et revient vers les molettes en maintenant encore les torons sur son moule, et un troisième travailleur tourne l'émérillon, de sorte que la torsion du câble se fait de derrière pendant que l'enfant continue la torsion des torons.

L'émérillon à faire les câbles n'est pas celui qui sert aux cordes.

C'est un chariot comme celui qui est représenté par la figure 11. La légende en explique la manière de fonctionner.

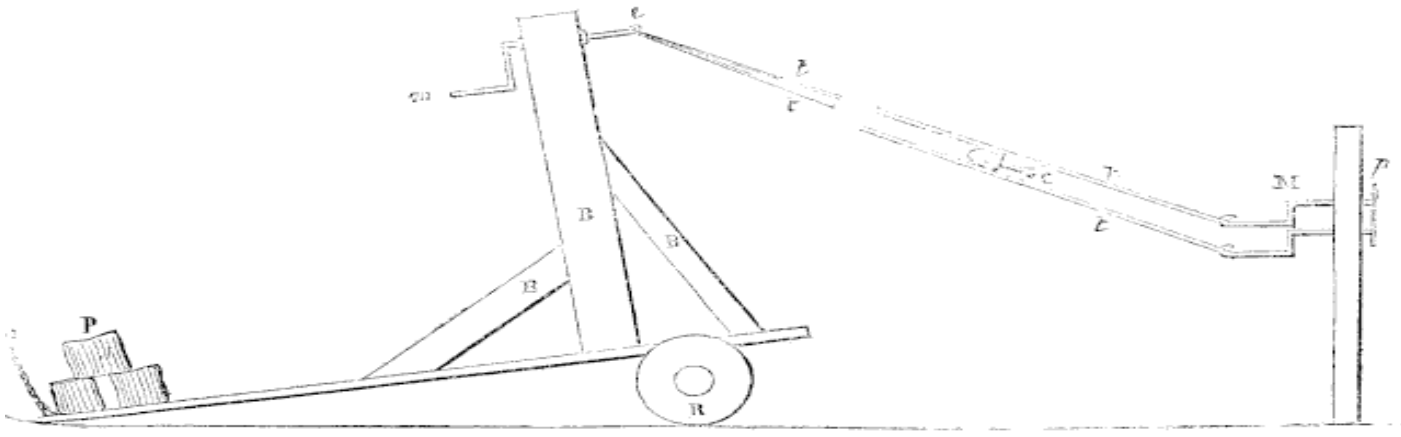


Fig. 11. — Câblage au chariot.

M, molettes à câbles et leur bâti. — *p*, la planchette mise en mouvement par l'enfant.

[1] Dans la grande industrie, cette planchette est mue par une poulie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C, le moule.
t, les torons.
e, le gros émérillon.
m, manivelle qui fait mouvoir l'émérillon.
B, bâti du chariot.
R, roue qui lui permet de se mouvoir quand la perte en longueur du câble ferait tout rompre s'il y avait obstacle.
P, poids qui retient le chariot.
a, corde dont l'ouvrier se sert pour ramener le chariot à sa place.

Lorsque l'on veut obtenir des câbles ayant une âme, c'est-à-dire un toron fixe autour duquel se tordent des torons mobiles, on a un moule percé dans l'axe de la base au sommet, on y passe le toron fixe, et on opère pour les autres comme si ce toron fixe n'existait pas ; quand le câble est fait, l'âme est au milieu : on pourrait ainsi avoir plusieurs âmes.

En terminant, nous devons remercier M. *Allart-Caramelle*, d'Origny-Sainte-Benoîte, et M. *Boudeaux*, du même pays, de la série de renseignements qu'ils nous ont donnés pour nous aider à traiter la partie technique.

Apprêt. — Les cordages étant terminés subissent un apprêt qui varie selon l'usage auquel ils sont destinés. Les cordages pour la marine sont goudronnés : les cordes pour les différents métiers reçoivent des matières qui les engluent de façon à ce qu'elles résistent aux agents au milieu desquels elles doivent servir.

Ainsi la ficelle doit perdre sa rigidité et sa rugosité ; il lui faut de la douceur, de la souplesse. Peu exposée aux intempéries, il n'est pas important qu'elle soit revêtue d'un enduit qui l'isole, en quelque sorte, de l'atmosphère ; mais il convient de l'adoucir. On y parvient à l'aide d'un apprêt que les cordiers appellent *parement*. C'est une composition de colle de pâte de froment additionnée d'un peu de savon mou. On enduit la ficelle de ce parement en la frottant avec un linge de laine qui en contient. Quelquefois, pour lui faire gagner de la longueur, la ficelle est étirée après l'apprêt.

En dehors des emplois ordinaires, une des grandes applications de la ficelle est dans l'industrie du tissage. Les métiers mus à bras, et notamment les métiers Jacquard en emploient une très-grande quantité. Voici un procédé d'apprêt de ces fils, qui leur donne une durée plus longue. Les quantités sont données pour 5,000 cordes. On mélange 0^k,370 d'huile de lin avec trois blancs d'œuf, on bat le mélange, on le fait bouillir pendant une demi-heure. On frotte avec un chiffon de laine ou avec une brosse tout l'équipage au moyen de cette huile, aussi longtemps qu'elle est chaude.

Souvent les propriétés d'imperméabilisation des cordages leur sont données par un enduit de caoutchouc ou de gutta-percha dissoute. On a proposé, pour remplacer ces substances coûteuses, le procédé suivant. On fait fondre du saindoux, du suif, on y mélange de l'huile de lin, de la terre d'ombre et du bioxyde de manganèse. Quand le mélange est devenu homogène par le brassage, on y plonge les cordes, et on les retire pour les faire sécher.

Les procédés de fabrication des cordages sont peu représentés à l'Exposition ; les produits, au contraire, le sont en grand nombre. MM. *Fraissinet père et fils*, de Marseille, ont une machine à fabriquer les torons de chanvre, qui ne permet pas de faire des cordes d'un petit diamètre.

Les recherches ont pour but surtout de trouver le moyen de fabriquer les cordages dans un espace plus restreint que celui qui est exigé par les procédés ordinaires. M. *Ouarnier-Mathieu*, de Compiègne, a exposé un assortiment de machines au moyen desquelles, passant par les diverses manutentions, le chanvre devient cordage. Ces appareils ont beaucoup d'analogie avec les machines à mouliner. En somme, les procédés automatiques n'ont pas encore envahi totalement l'industrie du cordage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quelques nations étrangères exposent des modèles de rouets propres à former des cordes ; la *Grèce* avait un rouet, l'*Autriche*, l'*Espagne* et l'*Angleterre* ont aussi quelques mécaniques à mouliner qui produisent de la corde ; mais ces appareils en très-petit nombre (chacune de ces nations en avait un) n'offrent rien de particulier, et ne sont pas accompagnés de leurs produits.

Presque toutes les nations qui ont concouru à l'Exposition de 1867 ont envoyé des cordages. C'est dans la classe 55 qu'il faut chercher les exposants de ces produits. Les fabricants de câbles métalliques ont leur exposition dans la classe 47 ; mais tous ont aussi une place dans la classe 55.

FRANCE. — Les exposants français sont au nombre de dix-huit. Parmi les fabricants de câbles métalliques il faut citer :

MM. Marcheteau, Potraies et Laroche, d'Angers ;

Besnard, Saint ; Genest d'Angers ;

La Commission des ardoisières d'Angers ;

M. Leroux, de Paimbœuf ;

MM. Martin Stein et C^ie^, de Mulhouse ;

J. B. Carue de Paris. — M. Carue a perfectionné l'application du cordage à la confection des échelles de cordes de chanvre. Pour éviter l'effet de l'humidité aux cordages, il a eu l'idée d'employer pour les montants des cordes à torons de torsion contraire, l'un de gauche à droite, l'autre de droite à gauche : de cette manière, les effets de l'humidité se neutralisent.

Les industriels que nous venons de citer fabriquent aussi les cordages de chanvre, et même d'aloès, spécialement les câbles et les cordages goudronnés. M. *Binet*, de Granville, et M. *Roy*, de Saint-Amand, ont en même temps une remarquable exposition de cordages goudronnés ; M. *Binet* a aussi des lignes de fond pour pêcher la morue.

L'industrie des petits cordages, de la ficelle, est représentée par des Parisiens. On voit dans les vitrines de ces fabricants tous les genres de ficelles de luxe et d'utilité que Paris emploie pour l'emballage des petits objets que lui seul produit. Les principaux exposants sont M. *Duffand*, M. *Lebœuf*, MM. *Deligny*, M. *Bertrand Freté*, et qui ont aussi des tapis faits avec les cordages.

MM. *Bisson* et *Guilbert*, de Paris, ont des ficelles écrues, blanchies et de toutes couleurs, et des fils spéciaux pour selliers, pour cordonniers. M. *Cerizier*, de Louviers, brille aussi par son exposition.

BELGIQUE. — M. *Vertangen*, de Termonde, expose des câbles pour l'extraction des houilles. Il remplace les câbles en fer par des câbles en aloès goudronné.

M. *Demot*, d'Hornu, a des câbles en fil de fer. Il a aussi des cordages en aloès.

D'autres exposants compris dans la classe 55 ont des objets fabriqués avec des cordes et des ficelles.

PRUSSE. — La Prusse expose des câbles en fil de fer, et la plupart de ses exposants en cette spécialité exposent aussi des câbles en chanvre. M. *Schmidt*, de Muncheberg ; M. *Heckel*, de Saint-Johann, et M. *Kennemann*, de Bochum, ont des câbles de fil de fer.

La petite corderie est représentée par MM. *Thomann*, de Warendorf ; *Sutter*, de Diez ; *Dietrich*, de Gleisen, et *Schmitz* et *Marx*, d'Aix-la-Chapelle.

GRAND-DUCHÉ DE BADE. — Deux exposants ont envoyé des câbles en fil de fer et des cordages de chanvre ; ce sont :

M. *Fingado*, de Mannheim, et M. *Wolf*, de Mannheim.

AUTRICHE. — L'industrie des câbles en fil de fer est représentée par M. *Wodley*, de Klagenfurt.

D'autres fabricants ont des sangles, des courroies, des applications des cordages aux tissus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Espagne. — L'exposition espagnole est pauvre en cordages. M. *Gonzalès*, de Ségovie, a seul envoyé quelques cordes de chanvre.

Portugal. — Quelques câbles, quelques cordes fines, voici le résumé. Les cordages de ce pays sont assez bien faits.

Danemark. — M. *Holm*, de Copenhague, a de beaux câbles.

M. *Thrane*, de Copenhague, a des cordages qui sont bons.

Suède. — Cordages divers. L'exposition de M. *Hoffman*, de Stockholm, est complète.

Russie. — Quelques exposants ont des câbles qui ne diffèrent pas de ce que produisent la plupart des autres contrées ; ce pays est peu représenté.

Des cordes de laine sont exposées par le *comité de Tiflis*.

Italie. — L'Italie qui produit d'excellents chanvres, est représentée par un assez grand nombre de cordiers, une quinzaine environ ; les cordages ordinaires, tels que les ficelles, sont en grande quantité.— Mais les objets fabriqués avec des cordes sont encore plus nombreux. Ces travaux attestent une certaine patience.

Turquie. — La Turquie a largement répondu à l'invitation. Le nombre des exposants en cordage de la Turquie est plus grand que celui de la France même.

Ce ne sont pas seulement les cordes qui se voient partout que l'on remarque dans l'exposition ottomane, ce sont aussi des cordages composés avec des matières inconnues ailleurs. Les cordes de feuilles de palmier sont surtout représentées.

Quelques câbles goudronnés et beaucoup de ficelles.

Égypte. — L'exposition collective du vice-roi a de nombreuses applications des ficelles, des cordes : le chanvre, le lin, les fibres de plusieurs espèces de dattier, le crin, le poil de chameau, tout ce qui peut faire de la ficelle est là.

Empire du Maroc. — L'empereur a envoyé des ficelles, des cordes de palmier et d'alfa, ainsi que des cordes de poil de chameau.

Brésil. — Quand on a vu la grande quantité de fibres dont dispose le Brésil, quand on s'est rendu compte de l'impossibilité de fabriquer des tissus avec ces fibres, on a dû tout d'abord penser que ce pays a tenté d'utiliser sa richesse de production de filaments à la confection des cordes; — c'est ce qui a lieu.

Voici les différents noms des produits du règne végétal qui servent à faire des cordes au Brésil :

Le chanvre, le periquita, l'aloès, l'embira, le gravata, le tucum, piassaba, cuaruâ, le bois de singe, le turury, l'ilaicima, la mauve des champs, le malxas, le piassare, le maissima, le monguba, le guaxima.

La plupart de ces fibres sont extraites de plantes grasses, et ne donnent que des cordages plus que médiocres, qui ne peuvent servir qu'à des emballages.

Le Brésil a aussi des cordages de fibres animales, tels que le crins.

Chili. — A quelques cordages.

Angleterre. — Elle est représentée par le Canada, l'une de ses colonies, dont quatre exposants ont envoyé des cordes qui n'ont rien de particulier.

Des cordes harmoniques.— Nous sortons de notre spécialité en nous occupant de la fabrication des *cordes harmoniques*, pour rendre hommage aux progrès réalisés en France dans cette industrie par MM. *Savaresse* et *Thibonville*, de Paris. Ces Messieurs, ayant livré leurs procédés à la publicité, ne pourront qu'applaudir à notre idée de donner ici un extrait des notes que nous avons pu consulter, et que se féliciter qu'elles soient reproduites en aussi bonne compagnie que celle des *Études sur l'Exposition* et des *Annales du Génie civil*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les facteurs de cordes de Naples ont aujourd'hui à compter avec une des corderies de Paris, qui fait admirablement les cordes à violon.

On va chercher les cordes harmoniques dans des intestins du mouton.

Le nature et l'âge du mouton ont une grande influence sur la qualité de la corde, à tel point qu'une corde à violon est de qualité supérieure si le mouton dont elle provient a été élevé dans un pâturage sec.

La chanterelle, qui est la corde la plus difficile à faire, s'obtient des boyaux de jeunes agneaux. Le *la* et le *ré* se font aussi avec des intestins d'agneaux, mais d'un âge plus avancé : de dix à quinze mois.

L'époque à laquelle on fabrique la corde n'est pas indifférente à la réussite : de mai à septembre, on a de meilleurs produits, et surtout en mai et en août.

Le travail commence à l'abattoir, car on doit avoir, au début, des boyaux frais et non encore refroidis, afin d'éviter les taches.

1° On prend encore chauds les intestins grêles du mouton qui vient d'être tué. On les étend sur une table, on les râcle afin de les débarrasser du sang, de la bile, de la graisse, et de ce que contiennent des intestins.

Des trois membranes dont se compose un intestin, on en fait disparaître deux : l'externe, qu'on nomme *filandre* ; et l'interne, qu'on appelle *râclures*. Il ne reste que la membrane du milieu, la membrane musculaire qui, composée de fibres tenaces, sert pour la fabrication des cordes harmoniques.

2° Les intestins ainsi préparés sont portés au *trempage*. Pendant douze à quinze heures, ils sont immergés dans une rivière factice d'eau froide courante. Au bout d'une quinzaine d'heures, on fait passer une eau courante à 60°, qui, en se mélangeant à l'eau froide dans des proportions voulues, doit former une température de 25°. Cette deuxième opération dure cinq heures.

3° La deuxième opération a déjà enlevé aux intestins une partie de leur odeur : on passe à un *râclage*. Cette opération a lieu à l'aide d'un morceau de roseau fendu en deux et taillé un peu en biseau. En râclant les boyaux, on en détache ce qui reste de la membrane interne.

Les râclures en pâte retournent à l'agriculture.

Il reste à enlever une membrane externe adhérant encore aux intestins, et qu'on nomme *filandre*. Les filandres, séparées du boyau, sont blanchies au soufre, puis polies à l'aide de brosses de chiendent. Elles trouvent un emploi dans la confection des fouets, des cravaches, des raquettes.

4° Pour arriver à une épuration complète de la membrane musculaire ou fibreuse qui doit, seule, servir à la fabrication des cordes harmoniques, on a recours à un *deuxième trempage*. Il consiste à immergerdans des terrines en grès les intestins qui doivent y subir l'action d'une eau alcaline qui, de 2° de l'alcalimètre en commençant, est de plus en plus chargée jusqu'à ce qu'au bout de sept jours elle marque 20°. Ces lavages répétés une vingtaine de fois facilitent le râclage définitif qui débarrasse les boyaux des pellicules qui sont restées des manipulations antérieures. Ce dernier râclage se fait à la main par un frottement entre le pouce et l'index garnis l'un d'un anneau en caoutchouc, l'autre d'un dé en cuivre.

5° Ainsi préparés, les intestins sont de diverses qualités ; des *trieurs* les séparent, afin de réunir par paquets les semblables.

6° Pour établir une épaisseur égale entre chaque partie qui doit composer une corde, propriété qui la rend juste, on refend les boyaux sur toute leur longueur à l'aide d'un couteau spécial ; on les met dans une terrine.

7° C'est alors qu'on *file* la corde. Le boyau tout humide est tendu sur une corde, et on lui donne un commencement de torsion. Les boyaux ainsi tendus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

reçoivent l'action de l'acide sulfureux, pendant deux jours pour les chanterelles, et quelquefois huit jours pour les grosses cordes ; on les sort souvent du soufroir, on les expose à l'air extérieur pendant plus ou moins longtemps, suivant le degré de sécheresse ; quand ils sont blanchis, on les mouille au moyen d'éponges, on les retord, et on les rentre au soufroir ; ces opérations marchent simultanément.

8° La dernière opération est l'*étrichage*, qui consiste à avoir un nettoyage et un dégraissage parfait par un *polissage* consistant à enlever toutes les aspérités qui proviennent des filaments qui n'ont pas cédé aux manutentions. Les cordes sont mouillées dans la dissolution alcaline et frottées mécaniquement avec des cordes de crin. Ensuite on polit à sec avec du verre pilé mis sur des coussinets en caoutchouc.

9° L'opération de l'étrichage terminée, les cordes sont enduites d'excellente huile d'olive, puis séchées complétement, coupées de longueur, roulées en cercle, mises en paquet, et livrées au commerce.

Terminons cet article sur l'exposition de MM. Savaresse et Thibonville par quelques mots sur leurs cordes en soie et sur leurs cordes métalliques.

Dans certains cas, les cordes en boyaux doivent être remplacées par des cordes en soie : c'est quand trop de chaleur jointe à l'humidité ramollit le boyau. MM. Savaresse composent leur corde de 140 brins de chacun 12 cocons, soit 1680 fils de vers à soie. La soie ayant été ramollie à la vapeur d'eau, les fils adhèrent au moyen du greg. La torsion est donnée par une machine à sept broches ; c'est une espèce de fil guipé dont l'un fait l'âme, et les six autres le contournent. Puis, on donne une légère couche de gomme arabique, et on polit à la cire.

Pour obtenir des cordes métalliques, MM. Savaresse recouvrent de métal les cordes en soie. Le fil d'argent est amené autour de la corde de soie par une machine faisant jusqu'à 15000 tours à la minute.

D'autres exposants ont aussi des cordes harmoniques ; mais ces produits ne pouvant être jugés que par des musiciens de talent, nous déclinons l'honneur de les apprécier, n'ayant parlé de MM. Savaresse que pour avoir l'occasion d'exposer leur mode de fabrication.

EUGÈNE PARANT.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

XXXVIII

HYDROPLASTIE

(Électro-Chimie. — Galvanoplastie)

Par A. de PLAZANET, Ingénieur des Arts et Manufactures.

(Planches 56 et 73.)

II

GALVANOPLASTIE [1].

PRÉLIMINAIRES. — Jusqu'ici nous ne nous sommes occupé que des dépôts en couches minces et destinés à faire corps avec le métal sous-jacent, nous allon maintenant parler des dépôts en couches épaisses et qui doivent, le plus souvent du moins, être séparés du moule ou de l'objet sur lequel ils ont été effectués.

Nous avons cru devoir comprendre sous la dénomination de galvanoplastie, non-seulement les opérations ordinairement désignées sous ce nom, c'est-à-dire les opérations qui constituent l'art de reproduire par l'électricité un objet donné, mais encore tous les dépôts en couches épaisses. L'identité des procédés à appliquer, celle des bains et des appareils employés nous ont paru une raison suffisante pour adopter cet ordre, et pour prendre le mot *galvanoplastie* dans un sens un peu plus général qu'on ne le fait de coutume.

Bien que les produits principaux de la galvanoplastie se trouvent dans la classe 40 (produits de l'exploitation des mines et de la métallurgie), on en retrouve dans diverses autres classes, notamment dans celles où ont été groupés les matériels de la gravure, de l'impression et de l'héliogravure.

Quatre métaux principalement ont jusqu'à ce jour été obtenus en couches épaisses, ce sont : le fer, le cuivre, l'argent et l'or.

Le plus important de beaucoup par le nombre de ses applications et la facilité avec laquelle on l'obtient industriellement est le cuivre, et nous en ferons une étude spéciale ; mais il convient d'abord de faire succinctement l'historique des découvertes diverses, qui ont amené successivement la galvanoplastie au degré de perfection que nous admirons aujourd'hui.

Il me semblerait injuste de décerner à un seul savant, à l'exclusion de tous les autres, le titre d'*inventeur* de la galvanoplastie, car cette découverte est à la fois l'œuvre du temps et celle de divers savants qui tous, dans des parts plus ou moins grandes, ont contribué à la compléter. Volta, le premier, après avoir découvert l'admirable instrument qui porte son nom, étudia les effets de décomposition de la pile sur les dissolutions salines. Brugnatelli poussa plus loin les observations, mais en restant dans le domaine de la théorie. Daniell, dont la pile peut être considérée comme le premier appareil de galvanoplastie qui ait été construit, observa le dépôt de cuivre métallique effectué sur les parois du vase en cuivre qu'il employait, et remarqua la similitude qui existait entre les

[1] Voir tome II, page 417, et tome IV, page 159.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inégalités de la surface du vase et celles du cuivre qui s'y était déposé.

La galvanoplastie se trouve en germe dans ce seul fait, mais ce germe ne devait être fécondé que plus tard, car M. de la Rive lui-même, tout en ayant signalé avec soin le même fait et constaté que *la feuille de métal ainsi formée offre, après avoir été enlevée, une copie fidèle de chaque éraillure de la plaque métallique sur laquelle elle reposait*, ne songea pas à étendre aux applications industrielles le résultat de ses observations.

Deux hommes ont surtout attaché leur nom à la découverte, ou plutôt à la vulgarisation de la galvanoplastie, j'ai nommé M. Jacobi et M. Spencer. On a cherché à attribuer tantôt à l'un, tantôt à l'autre de ces deux savants le mérite exclusif de cette importante découverte. Un examen attentif et impartial de ce qui a été écrit à ce sujet m'a donné l'entière conviction que M. Spencer ignorait aussi complétement les travaux de M. Jacobi, lorsqu'il reproduisait par la galvanoplastie des monnaies et des médailles, que M. Jacobi ignorait lui-même les découvertes de M. Spencer, lorsqu'il faisait les siennes.

Quoi qu'il en soit, c'est en 1837, que M. Jacobi parvint à reproduire dans la pile de Daniell des plaques de cuivre recouvertes de signes en creux ou en relief. En 1838, il songea à employer un bain séparé de la pile et une anode soluble. C'était ce que nous nommons l'appareil composé, et, si cet appareil a l'inconvénient d'être plus dispendieux que l'appareil simple, on doit néanmoins recourir à son emploi dans certains cas particuliers, la ronde-bosse, par exemple. Au début on ne pouvait opérer qu'avec des moules métalliques, lorsque Jacobi, dans une expérience qu'il faisait avec la pile de Daniell, remarqua que les vases poreux qu'il employait comme diaphragmes, reproduisaient, recouvertes d'un dépôt de cuivre, les marques qu'il y avait faites avec la plombagine d'un crayon. Dès lors l'emploi comme moule galvanoplastique d'une substance quelconque non conductrice, le plâtre ou la cire à cacheter, par exemple, devenait possible, en ayant soin de rendre l'intérieur de ce moule conducteur par une couche de plombagine ; de là surtout (ce qui est le plus grand essor de la galvanoplastie industrielle), date l'emploi de la gutta-percha qui, appliquée à chaud sur l'objet, reproduit tous les détails avec une fidélité étonnante. La découverte des propriétés de la plombagine fut faite en France par M. Bocquillon, à la même époque que par M. Jacobi, en Russie. — A peu près pendant la même époque, M. Spencer était parvenu à reproduire des médailles par la galvanoplastie, et on en trouvait à Liverpool dans le commerce, dès 1839.

Il perfectionna ensuite ces procédés et dirigea surtout ses travaux vers la reproduction des objets d'art, pendant que M. Jacobi s'occupait plus spécialement de la reproduction des planches gravées destinées à l'impression.

Le jury a décerné une récompense hors ligne à M. Jacobi, et a semblé décider ainsi en sa faveur la question de priorité ; sans faire appel de ce jugement nous nous permettrons de dire que la présence à Paris de M. Jacobi, sa très-sympathique personnalité, et peut-être aussi sa haute position sociale ont probablement contribué à plaider auprès de ses juges une cause douteuse.

Pour ne pas nous étendre outre mesure sur ces questions historiques, nous nous contenterons de citer les noms des savants distingués et des expérimentateurs habiles, qui se sont le plus spécialement occupé de galvanoplastie et auxquels cette science doit la plupart de ses progrès. Ce sont : MM. Becquerel, Bocquillon, Elsner, Grove, Smée, Elkington, Solly, Sorel, Chevalier, Roseleur et Lenoir.

Appareils. — Bien que le galvanoplaste puisse avoir à exécuter des opérations aussi multiples que diverses, et se proposer des résultats variés presque à l'infini, il n'en procède pas moins toujours à l'aide des mêmes bains et des mêmes appareils électriques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces appareils fort simples que nous allons décrire en quelques mots sont de deux sortes : l'appareil *simple* et l'appareil *composé*. Avec l'un et l'autre on procède de la même manière pour préparer le bain. On ajoute environ 5 p. 100 de son volume d'acide sulfurique à de l'eau ordinaire, et on lui fait dissoudre autant de sulfate de cuivre que cela est possible, à la température ordinaire. L'eau à 15° dissout environ 290 grammes de sulfate de cuivre, et le liquide marque 23 à 24° à l'aréomètre Baumé.

Il importe d'apporter le plus grand soin dans le choix du sulfate de cuivre. Il se trouve fréquemment dans le sulfate du commerce des impuretés nuisibles et notamment du sulfate de fer et du sulfate de zinc.

Pour que la dissolution du sulfate de cuivre se fasse aisément, il faut le placer à la partie supérieure du bain dans des paniers en gutta-percha ou en grès.

Lorsqu'on emploie l'appareil simple, on a ensemble, dans le même récipient, et le liquide à décomposer et la source d'électricité. L'objet à recouvrir fait lui-même partie du couple voltaïque. La figure 1 indique la disposition d'un de ces

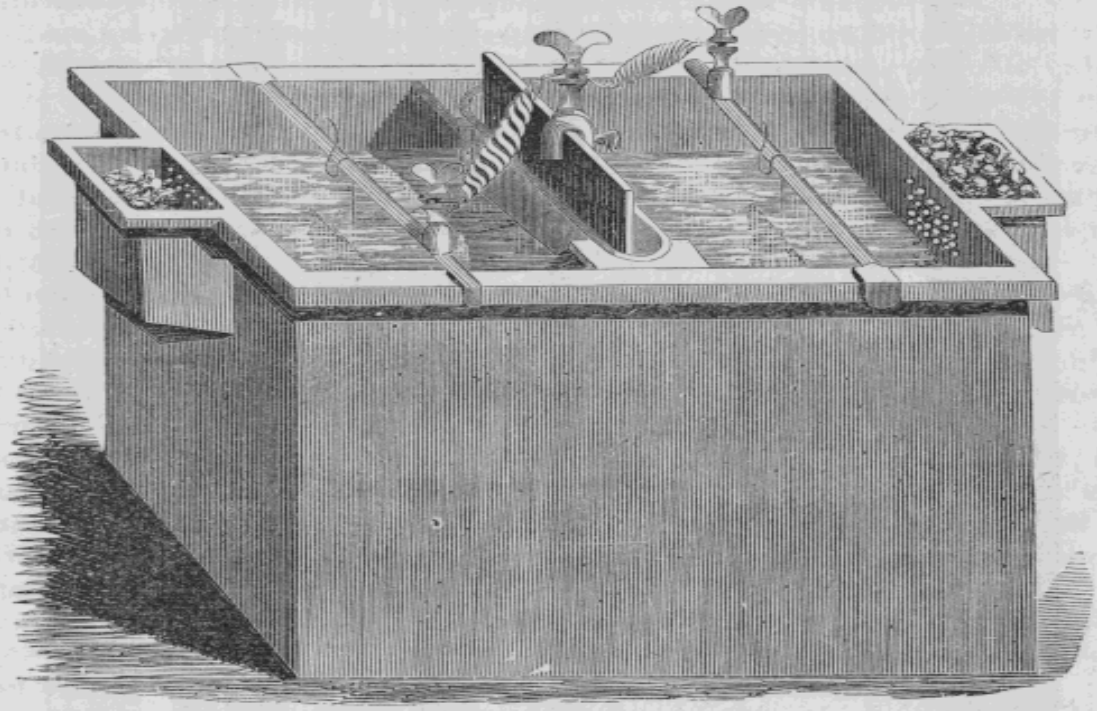


Fig. 1.

appareils destiné à la reproduction de petits objets ; la figure 2 représente un appareil simple tel qu'on l'emploie en industrie. Quelles que soient d'ailleurs la forme ou la dimension de l'appareil, il se compose toujours : 1° d'un vase extérieur en gutta-percha, grès, verre, etc., inattaquable à l'acide sulfurique ; 2° d'un ou plusieurs diaphragmes en porcelaine dégourdie ou en terre de pipe ; 3° d'une lame de zinc plongée dans ce vase ; 4° d'une galerie en cuivre fixée au zinc et destinée à supporter les objets ; on remplit le vase extérieur de la solution de sulfate de cuivre que nous avons décrite, et on met dans le diaphragme de l'eau acidulée à 2 à 3 centièmes d'acide sulfurique.

Cet appareil, comme on le voit, n'est autre chose que la pile de Daniell, dans laquelle le vase extérieur en cuivre de cette pile est remplacé par l'objet lui-même.

Dans la plupart des cas, en pratique industrielle, c'est cet appareil que l'on emploie à cause de l'économie qu'il présente et parce qu'il permet de sup-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

primer l'emploi des piles de Bunsen, dispendieuses et désagréables à cause de leurs émanations acides.

Mais à côté de ces avantages l'appareil simple présente deux graves inconvénients, celui de tendre à s'aciduler de plus en plus, et celui de se charger constamment de sulfate de zinc. On remédie au premier inconvénient en entretenant à certains intervalles le bain à l'aide d'oxyde de cuivre ou de carbonate de cuivre, et en saturant ainsi l'excès d'acide sulfurique libre. Quant au sulfate de

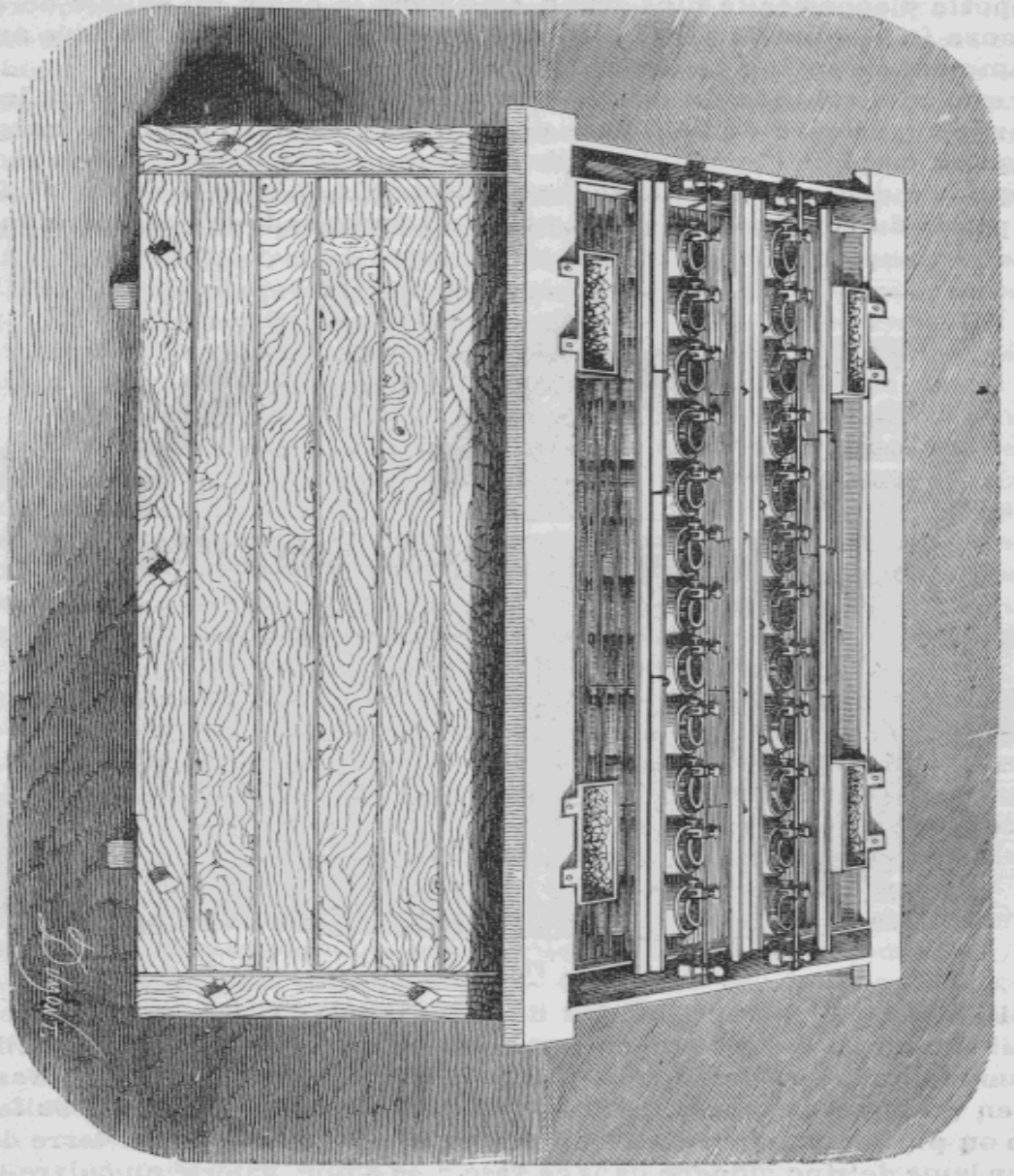


Fig. 2.

zinc, lorsqu'il est devenu trop abondant, on est obligé d'évaporer le liquide et de retirer le sulfate de cuivre par cristallisation. Le sulfate de zinc reste dans les eaux-mères.

Ces inconvénients ont conduit quelques praticiens à préférer l'appareil *composé* [1], malgré la différence sensible du prix d'entretien des deux appareils.

[1] Voir pl. 73 (*fig.* 15.).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans l'appareil composé, la source d'électricité (ordinairement une pile de Bunsen) est extérieure au liquide à décomposer. Ce dernier est contenu dans une cuve ordinairement en bois doublé de gutta-percha qui porte deux galeries de cuivre, dont l'une, mise en communication avec le pôle positif de la pile, supporte de larges lames de cuivre rouge, et l'autre reçoit les objets.

Les anodes de cuivre rouge ont pour objet de maintenir le bain à saturation en se dissolvant au fur et à mesure de l'opération dans l'acide sulfurique mis en liberté. L'action qui se produit est très-simple. Le sulfate de cuivre décomposé par l'électricité se dédouble en oxyde de cuivre et en acide sulfurique. L'oxyde de cuivre qui tend à se porter sur le pôle négatif y trouve l'hydrogène à l'état naissant qui le ramène à l'état métallique, pendant que l'acide sulfurique trouve au pôle positif de l'oxyde de cuivre dont il s'empare pour reformer du sulfate de cuivre.

Il semble donc inutile de remettre du sulfate de cuivre dans ce bain ; cependant, en pratique, les choses ne se passent pas tout à fait ainsi, et l'on est obligé de temps en temps d'enrichir le bain pour le maintenir à saturation.

La pile employée le plus souvent est celle de Bunsen, quelquefois on a recours à celle de Daniell. J'ai obtenu des résultats satisfaisants avec la pile de Smée, de très-grande dimension et très-peu chargée d'acide. Pour cet usage particulier, la pile de Smée se construit à l'aide de lames de cuivre argentées, puis platinées. Cette pile est plus employée en Allemagne qu'en France. A l'aide de l'un ou de l'autre des appareils que nous venons de décrire, on peut obtenir des dépôts de cuivre sur des objets métalliques ou non métalliques, mais métallisés.

Le plus souvent la métallisation se fait à l'aide de la plombagine, soit pure, soit préparée à l'aide de sels d'or, d'argent ou de platine, de façon à être plus conductrice. La plus facile à préparer est la plombagine *dorée*, qu'on obtient de la manière suivante. Dans un litre d'éther sulfurique, on fait dissoudre 10 grammes de chlorure d'or, et on broie avec ce liquide 1 kilogramme de plombagine aussi fine et aussi pure que possible. On laisse l'éther se volatiliser, et le chlorure d'or, en se réduisant à l'état métallique sous l'influence de l'air et de la lumière, laisse autour de chaque grain microscopique de plombagine une quantité de métal infiniment petite, mais suffisante néanmoins pour en accroître notablement la conductibilité.

Les matières perméables doivent avant leur immersion dans le bain être protégées contre l'action du liquide. Presque toutes les substances grasses peuvent procurer ce résultat ; il en est de même de la stéarine, de la cire et du spermaceti. Il importe de chauffer et de bien égoutter la pièce après l'immersion dans la substance destinée à la rendre imperméable, si on ne veut en perdre les finesses.

Toutes les applications possibles de la galvanoplastie peuvent être obtenues à l'aide de l'un des deux appareils que nous venons de décrire et qu'on applique suivant les besoins de l'opération spéciale qu'on a en vue. Les opérations galvanoplastiques varient presque à l'infini, soit dans les moyens d'exécution, soit dans les résultats qu'on cherche à obtenir, néanmoins on peut toutes les ranger dans les quatre catégories suivantes :

1° Dépôt sur métal avec adhérence.
2° Dépôt sur métal sans adhérence.
3° Dépôt sur un corps non métallique destiné à rester fixé à ce corps.
4° Dépôt sur un corps non métallique destiné à en être séparé.

Nous allons examiner chacun de ces groupes successivement, et signaler les principales applications que nous rencontrerons dans chacun d'eux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° *Dépôt sur métal avec adhérence.* — Lorsqu'on a besoin d'une épaisse couche de cuivre, le bain alcalin (page 171 du tome IV), ne saurait être employé tant à cause du prix élevé qu'à cause de l'impossibilité d'obtenir une couche assez épaisse : on a recours, dans ce cas, au bain acide de galvanoplastie. C'est ce qui arrive dans la dorure mate sur zinc. Après un premier dépôt dans un bain au cyanure double de potassium et de cuivre destiné à préserver le zinc de l'action acide du bain de sulfate de cuivre, on obtient, dans ce dernier, un dépôt plus ou moins épais suivant le degré de mat que l'on désire.

L'inventeur de ce procédé, M. Ph. Mourey, a présenté à l'Exposition de très-beaux échantillons de cette dorure qui peut lutter comme richesse de ton avec la plus belle dorure au mercure.

C'est aussi par une méthode analogue que s'obtiennent les dépôts épais sur fer, fonte, etc., par exemple sur les pièces destinées à la marine, clous, plaques de blindage, etc.

La *Thétis* a récemment été cuirassée à Toulon avec des plaques de tôle revêtue d'abord d'une couche de cuivre mince dans un bain alcalin, puis d'une très-forte couche dans le bain acide ou de galvanoplastie.

Le procédé Weill, dont nous avons parlé dans le T. II des *Études*, peut remplacer le bain au cyanure pour la première couche, et le cuivre qu'il fournit se prête de la même façon au dépôt galvanoplastique.

On voyait, classe 40, plusieurs applications de ce procédé, notamment un groupe de grande dimension représentant un dieu marin, et trois statues bien cuivrées.

M. Oudry a exposé aussi, dans son pavillon du parc, divers spécimens de cuivrage direct bien réussis.

2° *Dépôt sur métal sans adhérence.* — Si on a un objet métallique, tel que médaille, ornements, planche gravée, etc., on peut en obtenir une reproduction sans recourir au moulage. Il suffit pour cela de soumettre cet objet à l'action du bain, après l'avoir légèrement huilé ou plombaginé pour éviter l'adhérence. On obtiendra en creux les reliefs de l'objet, et le moule pourra servir à obtenir un dépôt qui sera l'exacte reproduction de l'objet.

Cette opération ne réussit pas toujours, car la moindre négligence peut amener l'adhérence en quelques points entre l'objet et le moule, et il en peut résulter la perte de l'objet.

Aussi a-t-on recours d'ordinaire pour les objets de grande valeur, comme les planches gravées, à l'intermédiaire de l'argent.

On obtient un moule en argent qui n'a jamais d'adhérence avec la planche de cuivre, et c'est cette planche d'argent que l'on soumet au bain de galvanoplastie pour obtenir la reproduction.

Le seul inconvénient de ce procédé est d'exiger un grand capital immobilisé par les bains d'argent, les anodes et les planches d'argent.

M. Samson, de Paris, dont l'habileté en ce genre de travaux est exceptionnelle, a exposé d'admirables reproductions obtenues par cette méthode, et le jury a décerné une médaille d'argent à ce nouveau venu déjà passé maître dans l'art galvanoplastique.

3° *Dépôt sur un objet non métallique destiné à lui rester uni.* — On recouvre parfois certains objets non métalliques d'une couche plus ou moins épaisse de cuivre, soit pour leur donner l'apparence d'un métal, soit pour leur prêter la consistance qui leur manque et en assurer la durée.

Les statuettes en plâtre, les fleurs, les fruits, les oiseaux, les vases en terre ou en bois peuvent ainsi recevoir un dépôt de cuivre à la condition d'avoir été préalablement bien métallisés. Le plâtre ne présente aucune difficulté, on se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contente, après l'avoir imperméabilisé, de le frotter avec de la plombagine ou de la poudre de bronze très-fine. Mais il n'en est pas de même dans tous les cas.

Pour arriver à métalliser des objets aussi délicats que des fleurs ou des plumes, on ne peut songer à ce moyen mécanique. On a recours alors à la métallisation par voie humide qui consiste à imprégner l'objet d'une solution de nitrate d'argent qu'on réduit à l'état métallique, soit par un courant d'hydrogène, soit en l'exposant aux vapeurs du sulfure de carbone phosphoré.

On remarquait des fleurs, des mousses et des feuilles assez bien recouvertes, malgré leur extrême délicatesse, par M. Boscaven Ibbetson.

Dans d'autres cas on recouvre une partie seulement de l'objet d'un dépôt de cuivre, et le métal sert principalement à l'ornementation de l'objet. C'est ce qui arrive pour les poteries et les cristaux.

Il faut recourir dans ce cas à un moyen de métallisation spécial, s'il s'agit d'objets de prix et qu'on désire une grande finesse de détails. Voici comment on procède.

On fait une bouillie claire en broyant du chlorure d'or ou du chlorure de platine avec de l'essence de lavande, et on dessine au pinceau avec cette bouillie les ornements destinés à l'objet. On porte ensuite celui-ci dans une moufle où on le soumet à une chaleur suffisante, pour détruire l'essence de lavande. Le sel d'or ou de platine est réduit à l'état métallique et a laissé sur l'objet le dessin qu'on y avait tracé. Rien de plus facile alors que d'obtenir sur les parties métalliques un dépôt de cuivre, le burin achève l'œuvre. C'est le procédé de M. Chablin à l'aide duquel il a produit de véritables œuvres d'art.

Quand il s'agit de poteries communes, on se contente de dessiner avec un vernis les ornements voulus, et on métallise le vernis avec de la poudre de bronze avant qu'il soit entièrement sec. Il n'y a pas adhérence dans ce cas entre la couche de cuivre et l'objet; pour qu'il y ait une certaine solidité, les dessins doivent former une sorte de réseau enveloppant le vase.

Une application bien autrement importante que les précédentes est le procédé de M. Oudry, que nous faisons rentrer dans la catégorie des dépôts sur objets non métalliques, parce que, bien que le corps à recouvrir soit la fonte de fer, la surface est devenue non métallique par l'application d'un vernis.

Le procédé Oudry consiste à recouvrir les objets en fonte d'un vernis gras, à métalliser ensuite ce vernis à l'aide de la plombagine et à soumettre au bain de galvanoplastie la pièce ainsi préparée. Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont faciles à saisir. L'inconvénient capital est le manque d'adhérence. Il peut arriver que, lorsqu'une partie du cuivre enveloppant est usée ou arrachée, des parties considérables se détachent à la suite. En un mot, par la méthode Oudry, on emprisonne l'objet dans une enveloppe de cuivre, mais on n'effectue pas un dépôt métallique adhérent. Un autre inconvénient est de détruire en partie par l'application du vernis les finesses des contours de l'objet.

Les avantages de cette sorte de dépôt sont principalement : 1° de supprimer l'emploi des bains de cyanure pour déposer une première couche : cette condition est importante pour les pièces de grande dimension, parce qu'il est difficile d'obtenir un premier cuivrage parfait sur de grands objets en fonte plus ou moins oxydée et rugueuse, et qu'une imperfection dans ce premier cuivrage entraînerait l'insuccès de toute l'opération ; 2° le vernis gras employé préserve le métal sous-jacent de l'oxydation, de sorte qu'au cas où le cuivre viendrait à manquer en certains points, la fonte se trouverait encore protégée pour un temps assez long.

On peut donc dire que le procédé ingénieux de M. Oudry présente de réels

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avantages lorsqu'il s'agit de protéger contre l'oxydation et de revêtir de l'apparence du bronze des pièces monumentales exposées à l'air et à la pluie.

On aurait en revanche raison d'en proscrire l'application pour le cuivrage des objets finement sculptés dont on empâterait les détails les plus délicats. L'inventeur a du reste compris dès longtemps le but auquel il devait tendre et a suivi la véritable voie du succès.

Ce procédé n'a pas attendu, pour s'affirmer, l'Exposition universelle ; depuis plusieurs années déjà il a fait ses preuves dans cette immense et permanente Exposition qu'on appelle Paris. Il n'est peut-être pas, à l'heure qu'il est, une seule des grandes voies, places ou squares de Paris, où ne se trouvent des spécimens de ce procédé.

Les plus connus et les plus importants sont les fontaines, statues et lampadaires qui décorent la place de la Concorde.

4° *Dépôt sur un objet non métallique, destiné à être séparé de cet objet.* — Nous arrivons au cas principal de la galvanoplastie qui constitue à lui seul ce qu'on entend le plus ordinairement par galvanoplastie proprement dite, c'est-à-dire la reproduction d'un objet par la galvanoplastie.

Un objet quelconque étant donné, nous pouvons le reproduire de deux façons différentes, suivant que nous voulons conserver le modèle ou qu'il n'y a pas d'inconvénient à le détruire.

Supposons qu'on puisse détruire l'objet et qu'il s'agisse par exemple d'une médaille en plâtre. Après l'avoir stéarinée et plombaginée avec soin, nous la déposerons dans le bain jusqu'à ce qu'elle se soit recouverte d'une couche de cuivre assez épaisse pour présenter de la consistance. On séparera alors la médaille du dépôt de cuivre, le plus souvent en la détériorant, mais cela nous importe peu, puisque nous possédons maintenant un moule résistant, inaltérable, qui nous permettra d'obtenir autant de *fac-simile* que nous voudrons de la médaille primitive, soit en plâtre, soit en cuivre.

On peut même arriver, avec quelques soins, à reproduire d'une seule pièce un buste en plâtre, et lui substituer un buste identique en cuivre.

Pour cela, après avoir recouvert d'une couche continue de cuivre le buste tout entier, dans un bain disposé comme à l'ordinaire, nous détruisons le plâtre et nous nous servons de l'enveloppe en cuivre comme du vase extérieur d'un élément Daniell, c'est-à-dire que nous l'emplissons de sulfate de cuivre et que nous plaçons au centre un diaphragme contenant de l'eau acidulée et une lame de zinc.



Fig. 3.

Il se déposera à l'intérieur du moule en cuivre une couche de cuivre qui, mise à nu en déchirant l'enveloppe extérieure, constituera une reproduction fidèle du modèle.

La figure 3 représente cette disposition applicable dans quelques cas.

Supposons maintenant que nous ayons à reproduire un objet qu'il ne faut pas risquer d'altérer ou de détruire, un objet d'art précieux, par exemple un riche coffret. Nous ne pouvons plus opérer comme tout à l'heure et soumettre l'objet lui-même à l'action du bain; car alors même que le sulfate acide de cuivre ne l'altérerait pas, nous risquerions fort de le compromettre quand il s'agirait de démouler.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans ce cas on opère, non pas sur l'objet lui-même, mais sur une empreinte aussi fidèle que possible obtenue à l'aide d'une matière plastique.

La substance la plus employée, celle qui prête aux arts galvanoplastiques le plus précieux concours, c'est la gutta-percha. Nous dirons quelques mots du moulage à la gutta-percha, et aussi du moulage à la gélatine, qu'on lui substitue quelquefois pour les objets présentant des parties de difficile dépouille.

On peut mouler à la gutta de deux façons différentes, à la main ou à la presse. Ce dernier mode est préférable lorsqu'on peut l'appliquer sans risquer de briser l'objet; il exige un matériel assez considérable.

On dispose l'objet à mouler dans un châssis de dimension convenable; après l'avoir plombaginé ou huilé pour éviter l'adhérence, on place au-dessus une quantité de gutta suffisante qu'on a préalablement ramollie par l'action de la chaleur, on presse lentement et on laisse refroidir à moitié, on plonge alors l'objet dans de l'eau froide et on démoule.

Le moulage à la main se peut faire de deux façons différentes, ou bien on place l'objet et la gutta dans un four chauffé à 125° environ, et on laisse la fusion s'opérer, on retire du four et on pétrit avec la main qu'on a soin de mouiller pour éviter l'adhérence de la gutta-percha, on s'arrête lorsqu'on suppose que la gutta a bien pénétré dans tous les fonds, on refroidit et on démoule.

Le moulage à la gélatine est extrêmement facile à réussir, puisqu'il s'agit simplement de verser sur l'objet, entouré d'un rebord en papier ou en carton, la gélatine encore liquide et de démouler lorsqu'elle s'est solidifiée. La gélatine a le grave inconvénient de se ramollir et de se déformer dans le bain de galvanoplastie ; on évite en partie cet inconvénient en additionnant la gélatine de 2 p. 100 de son poids d'acide tannique, et de 4 p. 100 de sucre. On doit aussi avoir soin de revêtir d'un vernis la face extérieure du moule.

Lorsqu'on a obtenu un moule par l'un des moyens précédents et qu'on l'a métallisé, il ne reste plus qu'à procéder comme dans un des cas précédents pour obtenir une reproduction de l'objet si celui-ci a pu être moulé d'une seule pièce; dans le cas contraire, on a fait autant de moules qu'il a été nécessaire pour pouvoir démouler aisément, et on réunit à l'aide de soudures les diverses pièces obtenues.

On conçoit que pour la ronde-bosse, par exemple, cette méthode serait longue, incommode et ne saurait donner que des résultats imparfaits ; aussi a-t-on recours à un autre procédé indiqué en 1841, par Parkes, en Angleterre, puis perfectionnné et appliqué par l'un des plus ingénieux et plus persévérants inventeurs de notre époque, j'ai nommé M. Lenoir.

Procedé Lenoir. — Ce procédé appliqué en grand à l'industrie, notamment par la maison Christofle et Cie, a une telle importance pour la reproduction des grandes œuvres d'art, que je n'hésite pas à entrer à ce sujet dans quelques détails, et je crois ne pouvoir mieux faire, pour être agréable au lecteur, que d'emprunter la description de ce remarquable procédé à l'ouvrage si estimé de mon savant maître et ami, M. Alfred Roseleur.

« Le problème a résoudre était celui-ci : un modèle parfait étant donné, en tirer galvanoplastiquement, et d'un seul jet, un nombre indéfini d'épreuves tellement identiques au type, que l'œil le plus exercé, celui même de l'artiste, ne pût distinguer son œuvre propre de la reproduction.

On va voir par quelle série de moyens, plus ingénieux les uns que les autres, Lenoir est arrivé à la solution désirée. Prenons pour exemple une statue, celle que représente la figure 4. On commence par en faire, avec la gutta-percha, un moule à pièces, dont les différents morceaux peuvent à volonté et au moyen de repères, reproduire un creux parfait du modèle. Dans cet état, on com-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mence à plombaginer avec le plus grand soin tous les intérieurs du moule.

D'autre part, avec du fil de platine, on ébauche une carcasse qui représente,



Fig. 4.

grosso modo, mais sur des dimensions un peu restreintes, l'objet à reproduire.

La figure 5 montre cette carcasse qui reproduit les formes générales de la statue. La carcasse devra être un peu plus petite que le moule pour pouvoir être suspendue dans son intérieur, sans qu'il y ait aucun point de contact.

On comprend déjà que, si maintenant on enferme la carcasse dans le moule reconstitué par ses diverses parties, et bien métallisé par la plombagine, et qu'on introduise le tout dans le bain galvanoplastique, en reliant, par un conducteur, la surface intérieure du moule au pôle négatif de la batterie, pendant que la carcasse, qui ne doit toucher en aucun point la surface plombaginée, se reliera elle-même au pôle positif de cette même batterie, on comprend, dis-je, que la portion de bain qui remplit la cavité du moule va se décomposer, et que le cuivre viendra s'appliquer intérieurement à ce même moule pour en reproduire les plus imperceptibles détails. Il suffira donc, lorsque la couche sera convenablement épaisse, d'enlever la gutta-percha qui compose le moule, pour trouver dessous une statue en ronde-bosse dont les travaux d'achèvement seront tout à fait insignifiants comme prix.

Mais si les choses s'expliquent et se comprennent ainsi facilement par la théorie, elles ne sont pas d'une exécution pratique aussi commode, et on va voir de quelles précautions ingénieuses l'inventeur a dû s'entourer pour mener l'œuvre à bonne fin.

D'abord rien n'était plus difficile à constater, une fois le moule refermé sur la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

carcasse anode, que l'absence absolue de points de contact entre ces deux objets. Pour éviter sûrement ces contacts, M. Lenoir a eu l'idée de faire courir en spirale, sur toutes les parties externes de l'anode de platine, un fil de caoutchouc qui, par son épaisseur, s'opposait au rapprochement de la surface métallisée et du fil de platine. Ce caoutchouc n'étant pas conducteur du fluide électrique, il importait peu qu'il vînt toucher la surface plombaginée. La décomposition galvanique n'en marchait pas moins bien.

Mais, malgré toutes ces précautions, il pouvait arriver que le dépôt de cuivre qui se formait à l'intérieur, prenant une épaisseur de plus en plus grande, et diminuant par suite petit à petit l'intervalle laissé primitivement entre l'anode et le catode, ces deux surfaces vinssent enfin à se toucher par un point, ce qui arrêtait immédiatement l'opération, sans que l'opérateur pût le constater à aucun signe extérieur.

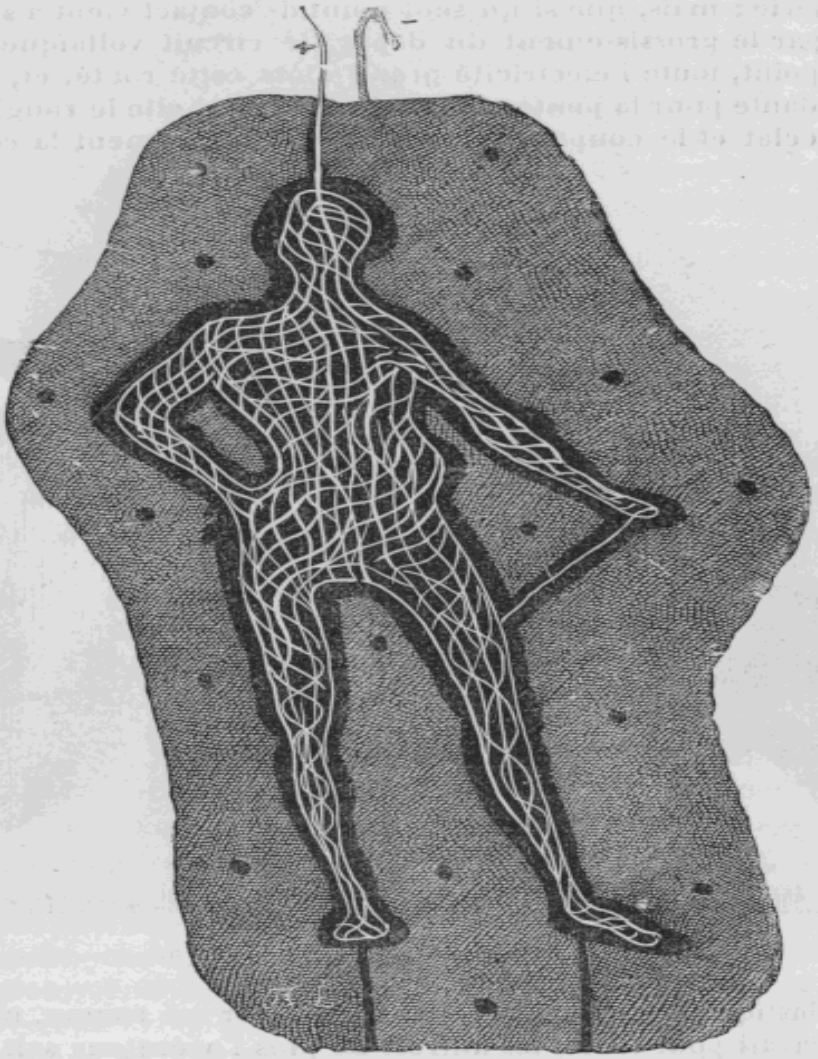


Fig. 5.

C'était là un inconvénient grave et qui, à lui seul, pouvait anéantir dans la pratique le procédé tout entier. On comprend, en effet, que dans une même cuve renfermant un grand nombre de moules à reproduire, il suffisait qu'un point de contact s'établît entre les deux pôles (moule et carcasse) pour que toute l'électricité de la batterie, trouvant un chemin plus facile et meilleur conducteur que le bain qu'elle devait décomposer en le traversant, s'écoulât tout entière par cette voie sans aucun profit pour l'opération.

Pour obvier à cette éventualité si redoutable, M. Lenoir a imaginé le moyen suivant :

Tous les moules d'un même bain sont soutenus dans le liquide par des crochets qui reposent sur une tringle et qui les prennent à l'extérieur sans avoir aucune communication avec la face plombaginée. Quant à ces intérieurs, ils sont munis chacun d'un petit conducteur métallique qui se continue hors du bain par un fil de fer fin comme un cheveu, et tous ces fils de fer se réunissent au pôle négatif de la pile. Quant aux attaches des carcasses de platine, elles sor-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tent par la même ouverture que le conducteur de la partie plombaginée, mais sans le toucher, bien entendu, et vont se relier au pôle positif de la même pile (*fig.* 6).

De cette organisation, il résulte qu'en l'absence absolue de points de contacts entre les carcasses et les intérieurs de moules, le fluide électrique trouve un passage suffisant par l'ensemble des fils de fer qui relient les moules à la batterie ; mais, que si un seul point de contact vient à s'établir dans un des moules par le grossissement du dépôt, le circuit voltaïque se trouvant fermé par ce point, toute l'électricité prend alors cette route, et, comme elle est trop abondante pour la petite section du fil de fer, elle le rougit rapidement, le brûle avec éclat et le coupe. Il en résulte instantanément la cessation du travail galvano-

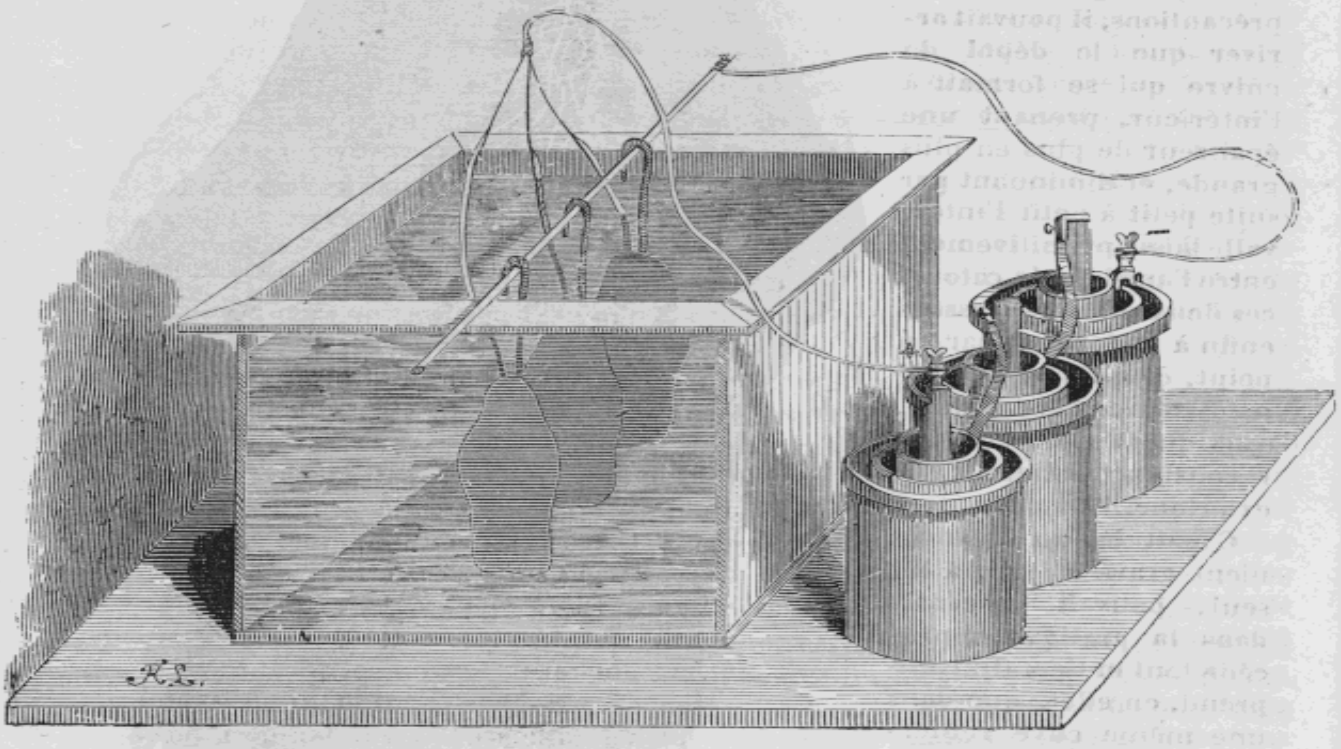


Fig. 6.

plastique pour la pièce dont le fil de fer est rompu, mais la reprise de ce même travail pour toutes les autres. De plus l'opérateur sait immédiatement où il doit porter remède.

Le fil de fer doit être très-court pour qu'il puisse brûler plus rapidement : 1 ou 2 centimètres suffisent.

Enfin, on comprend facilement que, la carcasse anode en platine restant tout à fait insoluble, et ne pouvant réparer les pertes du bain à mesure que son cuivre se dépose, il en résultera bien vite que le moule ne contiendra plus que de l'eau acidulée par l'acide sulfurique du sel de cuivre. De là la nécessité de laisser aux extrémités inférieures de la statue, sous la plante des pieds, par exemple, deux trous par lesquels le bain saturé de cuivre, et par conséquent plus dense, rentrera pour remplacer l'eau acidulée plus légère qui gagnera la surface de la cuve en s'échappant par le trou réservé au sommet de la tête, lequel sert aussi à donner passage aux deux conducteurs de l'anode et du moule (*fig.* 7).

Lorsque l'opération sera achevée, il suffira donc d'enlever le moule en gutta,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de faire sortir de force la carcasse anode, pour obtenir une statue à laquelle il faudra boucher trois trous, enlever quelques rébarbes aux coutures du moule, mais qui, dans les portions capitales, sera la reproduction rigoureusement exacte du modèle primitif. »

Aujourd'hui on a substitué l'anode de plomb à l'anode de platine, ce qui permet de reproduire de grands objets sans immobiliser un capital considérable.

Le plus bel exemple de galvanoplastie en ronde-bosse obtenue par le procédé Lenoir est le groupe monumental destiné à l'Opéra de Paris, et exécuté par la maison Christofle et Cie.

Il a plus de 5 mètres de hauteur et a été reproduit d'après le modèle exécuté par M. Gumery, et à l'aide d'une carcasse en plomb formant l'énorme anode insoluble qui suivait approximativement les sinuosités de la cavité formée par la réunion de moules en gutta-percha.

On voyait à l'Exposition, dans le kiosque de M. Oudry, une fort belle reproduction galvanoplastique effectuée d'une seule pièce dans les ateliers de cet habile industriel. Je veux parler du bas-relief de l'arc de triomphe de Constantin.



Fig. 7.

Ce bas-relief, qui est un des plus précieux monuments de l'art romain, avait été surmoulé en plâtre par ordre de l'empereur Napoléon III ; c'est sur cette reproduction en plâtre que M. Oudry a obtenu les moules en gutta-percha à l'aide desquels il est parvenu à reproduire, en cuivre galvanoplastique dans un seul bain, cette belle page de l'art antique qui n'a pas moins de $3^m,60$ de hauteur, sur $2^m,20$ de largeur.

Dans la classe 40, on remarquait avec intérêt, à l'exposition de la maison Christofle, une statue d'environ 1 mètre de haut, laissée dans l'état même où elle était sortie du bain de galvanoplastie. Les extrémités des doigts seules présentaient des imperfections et réclamaient le concours du ciseleur. On pouvait donc, à ce seul aspect, juger des résultats importants que peut donner entre d'habiles mains le procédé Lenoir.

Nous citerons encore dans la classe 40 l'exposition de MM. Lionnet frères,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où l'on remarquait des statuettes, des coffrets et des coupes d'un fini parfait.

Nous aurons encore à mentionner les tubes sans soudure obtenus par M. Federowky, de Cronstadt, qui constituent une ingénieuse et utile application de la galvanoplastie.

On remarquait encore, en Italie, l'exposition de M. Broggi, de Milan. En Danemark, celles de M. Mœller, et celle de M. Drewsen, de Copenhague.

A propos de la galvanoplastie de fer, nous parlerons de M. Feuquières, dont les reproductions galvanoplastiques sont remarquables surtout au point de vue des qualités physiques du métal qui peut se comparer au meilleur cuivre fondu ou laminé.

Galvanoplastie d'argent. — Le bain qui sert à obtenir des reproductions, en argent, de bijoux ou de petits objets d'art, se compose des mêmes éléments que le bain d'argentine, les proportions seules varient.

On obtient de bons résultats avec un bain composé comme je vais l'indiquer. On met en dissolution 1 kilogramme de nitrate d'argent et on le précipite à l'aide de l'acide cyanhydrique ; on dissout le cyanure d'argent ainsi obtenu dans 3 kilogrammes de cyanure de potassium, mis en dissolution dans de l'eau distillée, et on complète 20 litres de liquide.

L'important est de proportionner la quantité d'électricité à la densité du bain et à la surface des objets ; on y arrive assez vite après quelques tâtonnements, et alors, en maintenant le bain sensiblement dans les proportions indiquées ci-dessus, on aura constamment un dépôt de bonne nature.

Les applications de la galvanoplastie d'argent ne sont pas très-importantes, cependant quelques maisons la pratiquent industriellement. Je citerai parmi les plus habiles MM. Christofle et Cie, MM. Lionnet frères, M. Samson et M. Van Kempen, de Voorshoten près Leyden. Ce dernier a consacré un soin tout particulier à la galvanoplastie d'argent, et il sort de ses ateliers des pièces extrêmement remarquables et en quantités notables. Ces œuvres d'art sont malheureusement peu répandues en France, et sont surtout appréciées dans les Pays-Bas, la Belgique et l'Allemagne du Nord.

Galvanoplastie d'or. — La galvanoplastie d'or a moins encore d'applications que celle d'argent, car le prix de la matière première est tel qu'il y a peu d'intérêt à diminuer d'une manière peu sensible le prix d'un objet en substituant la galvanoplastie au travail de l'artiste.

Cependant on l'emploie quelquefois pour reproduire des bijoux très-délicats, très-finement ciselés et qui ont par suite une valeur artistique indépendante de la valeur intrinsèque du métal. Voici une formule qui est recommandée par M. Roseleur :

Eau distillée.....	1 litre.
Chlorure d'or.....	50 grammes.
Cyanure de potassium.	150 grammes.

On emploie la pile séparée du bain ; la pile de Daniell convient bien à ce bain et, si l'on emploie la pile de Bunsen, il faut la charger très-peu et n'employer que des éléments de petite dimension.

Galvanoplastie de fer. — Au premier abord on se demande si la galvanoplastie de fer peut avoir des applications sérieuses ; car le prix très-peu élevé des objets en fer, fonte et acier semble ne pas permettre à la galvanoplastie de pouvoir rivaliser sur ce point avec la métallurgie ordinaire.

Cela n'est pourtant pas toujours exact, il peut y avoir intérêt à reproduire en fer des objets gravés, par exemple des burins, des planches destinées à un grand

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nombre de tirages. De plus on donne de la rigidité aux planches en cuivre en opérant sur la face postérieure un dépôt de fer.

M. Feuquières a résolu d'une manière complète le problème de réduire à l'état métallique le fer de ses dissolutions. Le jury lui a décerné une médaille d'or, et cette distinction se justifiait pleinement par l'examen des objets exposés. On voyait en effet, à côté de planches d'une finesse extrême, des objets d'une dimension assez considérable, bouclier, casque, armure, produits par la galvanoplastie en fer de plusieurs millimètres d'épaisseur et possédant toutes les qualités caractéristiques de ce métal.

M. Feuquières ne divulgue pas ses procédés et je ne puis, par conséquent, que manifester le regret de ne les point connaître ; il m'a fait toutefois espérer que dans l'avenir il publierait l'ensemble des méthodes qu'il emploie non-seulement pour les dépôts de fer, mais aussi de tous les autres métaux. Ces méthodes seraient entièrement différentes de celles pratiquées jusqu'à ce jour et constitueraient un véritable *secret*. Pour moi, jusqu'à preuve contraire, je suis très-porté à croire que le *secret*, et il en vaut bien un autre, de cet habile galvanoplaste consiste dans une observation intelligente et attentive des phénomènes qui se produisent dans les dissolutions salines suivant l'intensité de la source électrique, et d'avoir su proportionner la nature et la quantité d'électricité à la nature et à la densité des solutions à décomposer.

M. Samson a également étudié les dépôts de fer et est parvenu à de remarquables résultats, mais sans arriver toujours et à coup sûr à un succès complet. Au reste ce chercheur ingénieux et persévérant n'a point abandonné ses travaux, et peut-être à l'heure où j'écris ces lignes a-t-il complété son procédé.

On obtient un dépôt de fer de qualité convenable, en faisant agir un courant extrêmement faible sur une dissolution maintenue à saturation de chlorhydrate d'ammoniaque et de sulfate de fer.

Il importe que la liqueur ne devienne pas acide et que le fer reste à l'état de sel de protoxyde.

A. DE PLAZANET,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LXXX

LE CAOUTCHOUC

ET LA GUTTA-PERCHA

Par M. Eug. LACROIX, directeur des *Annales du Génie civil.*

Lorsqu'en 1736 La Condamine, voyageant dans le Pérou pour déterminer la figure de la terre, écrivit à Bouguer qu'il avait vu les habitants employer, en guise de flambeaux, des bâtons d'une résine élastique roulés dans des feuilles de bananier, l'illustre académicien ne se doutait pas du rôle important que cette résine élastique serait appelée à jouer un siècle plus tard, sous son nom indien de *caoutchouc*, dans les arts et dans l'industrie. Rendons cependant cette justice aux peuplades de l'Amérique, que La Condamine avait vu employer à Quito le caoutchouc pour la fabrication de quelques vêtements *imperméables*, et que, dans le Para, les sauvages avaient depuis très-longtemps employé le caoutchouc dans la thérapeutique, ce qui avait fait donner par les Portugais à l'arbre d'où découle cette résine le nom de *Pao de xiringa*, l'arbre à seringue.

Le botaniste Aublet a donné le premier des notions exactes sur l'arbre qui a fourni le premier caoutchouc connu en Europe, l'*Hevea guianensis*, appartenant à la monoécie monadelphie de Linné, ordre des Euphorbiacées ; cet arbre atteint parfois une hauteur de 15 à 20 mètres dans la Guyane et dans les forêts qui longent les bords de l'Amazone ; depuis on a découvert un grand nombre d'autres arbres qui laissent suinter le suc laiteux dont le caoutchouc est formé, par exemple, le *Ficus indica*, l'*Artocarpus integrifolia*, l'*Asclepias vincetoxicus*, l'*Euphorbia punicea*, l'*Urceola elastica*, le *Sapium aucuparium*, et il ne serait pas téméraire d'affirmer que des arbres sécrétant ce suc se trouvent sous toutes les latitudes, mais en obéissant à la loi générale qui gouverne la vie végétale, c'est-à-dire une production croissant à mesure qu'ils sont plus rapprochés des tropiques. De Humboldt, dans la première édition de ses *Aspects de la nature*, avait d'ailleurs déjà fait remarquer ce fait, que « le suc laiteux des plantes augmente lorsqu'elles avancent vers les tropiques. »

Parmi les arbres donnant en grandes quantités le caoutchouc, qui a pris une importance commerciale considérable, et qui est connu sous le nom de caoutchouc de Java et des Indes orientales, il faut citer pour Java le *Ficus radula* et le *Ficus prinoides*, puis le *Ficus elastica* ou arbre à caoutchouc d'Assam. On a trouvé dans l'île de Java de ces arbres atteignant une hauteur de 30 mètres et étendant leurs branchages sur une circonférence de 45 mètres. Ce *Ficus* est aussi indigène dans plusieurs districts de l'ancien royaume d'Assam. On n'évalue pas à moins de 40 à 50,000 le nombre de ces arbres qui se trouvent sur une superficie relativement peu étendue, couverte de forêts, près de Ferozepore, dans le district de Chardwar ; le Rapport illustré sur l'Exposition de 1865 de Dublin, auquel nous em-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pruntons ce détail, affirme que cet arbre atteint en cinq ans une hauteur de 7 à 10 mètres.

Le caoutchouc américain, qui trouve un si large débouché sur les marchés européens, provient généralement du *Siphonia elastica*, qui croît sur les bords de l'Amazone et de ses tributaires. Enfin du caoutchouc nous vient encore en quantités assez fortes du Mexique, du Brésil, du Gabon, de Madagascar, etc.

Le mode d'extraction du caoutchouc est à peu de détails près le même dans tous les pays de provenance et n'a pas varié. Ainsi le Dictionnaire technologique disait en 1823 :

Pour extraire ce singulier produit du végétal qui ne le contient qu'à l'état de suc émulsif, on commence par bien débarrasser l'écorce de toutes les impuretés qui pourraient y être fixées ; puis, à l'aide d'un instrument tranchant, on y fait des incisions obliques qui pénètrent totalement l'écorce et qui sont disposées les unes au-dessus des autres : immédiatement au-dessous de la plus inférieure, on fixe avec de la terre glaise une feuille assez large pour recevoir tout le suc qui s'écoule des incisions et forme une espèce de gouttière qui le conduit dans un vase de calebasse placé convenablement. Ce suc lactescent est très-fluide au moment de son extraction ; mais il se coagule assez promptement, et il acquiert cette ténacité élastique qui caractérise le caoutchouc. Pour expédier cette matière dans le commerce, on lui donne différentes formes, et particulièrement celle de petites bouteilles ou poires. On commence par faire un moule en argile de la figure qu'on veut obtenir ; on adapte ce moule à un morceau de bois qui lui sert de manche, puis on le polit parfaitement à l'aide de l'eau. Lorsque le moule est bien préparé, on l'enduit d'une couche de suc laiteux, et on l'expose immédiatement à une fumée très-épaisse, mais on évite avec soin une chaleur trop forte, pour ne pas décomposer le caoutchouc. Une fois que l'enduit a pris une teinte jaune et qu'il ne s'attache plus aux doigts, on en met une seconde couche, et ainsi de suite jusqu'à ce que le vase soit assez épais. On termine en imprimant sur la surface encore molle différentes figures ou dessins.

Tout cela est encore exact aujourd'hui ; seulement le mode d'expédition varie d'après les pays de provenance. Tantôt (comme le faisait déjà observer M. Balard dans son Rapport sur l'Exposition universelle, en 1851), le caoutchouc nous arrive en masses plus ou moins volumineuses, d'un blanc mat et à l'état opaque; tantôt en feuilles irrégulières légèrement jaunâtres et translucides : il en vient aussi en feuilles épaisses ou masses globuleuses, tantôt creuses, tantôt pleines, tantôt brunes et opaques, tantôt jaunes et translucides.

On a aussi apporté en Europe dans des vases bien clos du suc laiteux de caoutchouc. Le caoutchouc s'y trouve en suspension avec de l'albumine végétale qu'on enlève en étendant le suc en trois ou quatre fois son volume d'eau : très-promptement, le caoutchouc vient à la surface, et, pour l'obtenir pur, on vide le vase par un robinet adapté à sa partie inférieure.

Le caoutchouc, on le sait, n'a d'abord servi en Europe que pour effacer le crayon et adoucir le papier : il portait alors le nom très-modeste de gomme élastique, et, chez les Anglais, celui qu'il a conservé d'*indian rubber* ou *effaceur indien*. A mesure que les procédés d'épuration se sont perfectionnés, le caoutchouc s'est adapté à de nouvelles applications, et les applications nouvelles ont appelé de nouveaux perfectionnements.

En 1820, on parvint en Angleterre à ramollir le caoutchouc de manière à l'étendre en lames très-minces. Mackintosh créa les vêtements imperméables qui portent son nom et qui sont formés de deux étoffes recouvertes de caoutchouc sur l'une de leurs faces, et réunies l'une à l'autre par cette substance adhésive. Il n'est que juste d'ajouter que des tentatives pour arriver au même résultat avaient

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

été faites en France dès 1793 par Besson, et dès 1811 par Champion ; d'ailleurs, nous l'avons dit en commençant, La Condamine avait signalé l'existence de vêtements imperméables à Quito au milieu du dix-huitième siècle.

En 1820 aussi, en France et en Autriche, on commença à étirer le caoutchouc en fils pour en fabriquer des tissus élastiques.

En 1837, Nickel purifia le caoutchouc en le soumettant à l'action de cylindres munis de dents qui lui font subir une espèce de mastication, d'abord humide, puis sèche. Ensuite il subit une forte compression qui le ramollit sans le liquéfier.

Vers la même époque, Goodyear remédiait à un inconvénient qui était justement le résultat d'une des propriétés du caoutchouc : cet inconvénient était l'adhésivité des pièces venant en contact et produisant ainsi l'absence de l'élasticité. Goodyear, en associant le soufre au caoutchouc, parvint à faire des chaussures possédant une élasticité presque illimitée, permanente et résistant à l'abaissement de la température ; ce procédé qui, comme toutes les grandes inventions, a sa légende, prit le nom de *volcanisation* ou de *vulcanisation* du caoutchouc : c'est cette dernière appellation qui a généralement prévalu, bien qu'il eût été plus logique de nommer volcanique une opération dont le soufre est la base.

L'Américain Goodyear n'avait pas eu le soin de faire patenter son invention en Angleterre ; il se vit devancer par un autre chercheur, Hancock, qui, ayant entendu parler des résultats obtenus par Goodyear, était remonté de l'effet aux causes et avait fait breveter l'emploi du soufre.

Depuis cette époque les procédés de volcanisation se sont encore améliorés ; ainsi on a sulfuré le caoutchouc en le plongeant dans une solution de polysulfure de potassium à 25° du pèse-sel, solution qu'on élève successivement à une température de 150°. On a aussi employé le chlorure de soufre et d'autres composés sulfurés.

Quant aux mécanismes employés pour le nettoyage du caoutchouc, ils sont fort simples. On s'est d'abord servi tout uniment de l'appareil connu dans la fabrication du papier sous le nom de pile, et dont nos lecteurs ont trouvé la description dans l'étude sur la papeterie. Mais les résultats que donnait cette pile laissaient beaucoup à désirer, parce que le caoutchouc n'était pas réduit en morceaux assez petits et qu'il conservait beaucoup d'impuretés. MM. Aubert, Gérard et C^ie^ ont obvié à cet inconvénient il y a dix-sept ans, par l'emploi d'un déchiqueteur qui a fonctionné à l'Exposition de 1867, et dont nous empruntons la description à M. Gérard lui-même, qui faisait partie du jury international.

Le déchiqueteur se compose d'une paire de cylindres marchant à inégale vitesse ; l'un fait un tour, tandis que l'autre en fait trois. Le caoutchouc qui a été préalablement coupé en menus morceaux et ramolli dans l'eau chaude, est mis entre ces cylindres serrés à fond l'un contre l'autre ; il subit un étirage très-violent de la part du cylindre qui marche avec le plus de vitesse ; il en résulte une espèce de broyage qui produit de très-nombreux déchirements dans les morceaux de caoutchouc : les corps étrangers sont alors facilement entraînés par l'eau qui coule constamment sur les parties supérieures des cylindres ; en passant quatre ou cinq fois de suite dans l'appareil, le caoutchouc finit par être déchiré et écrasé dans tous les sens, et les moindres impuretés sont complétement extraites.

Ce caoutchouc, en même temps qu'il est soumis au frottement du glissement des deux cylindres qui amènent son déchirement, reçoit de leur part une très-forte compression ; il en résulte que tous les petits morceaux provenant de ce déchirement se soudent entre eux par une de leurs parties et forment une es-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pèce de toile ayant l'aspect d'une peau chagrinée qui serait percée d'une quantité infinie de petits trous. On étend sur des cordes ces toiles, et, en raison de leur conformation, elles sèchent très-facilement. Ces toiles de caoutchouc déchiquetées, ayant été bien séchées, sont mises à l'étuve ou seulement dans un endroit chauffé de manière à rendre le caoutchouc plus souple et plus adhésif à sa surface.

Après cette opération, on mettait généralement autrefois le caoutchouc dans une sorte de pétrin connu sous le nom de *loup* ou de *diable*. Le pétrissage se fait aujourd'hui par des cylindres en fonte dont l'un a une table unie, tandis que l'autre a reçu sur toute sa circonférence des cannelures d'une profondeur de 0m,015 sur une largeur de 0m,030. Ces cylindres, qui sont creux et qui peuvent être chauffés par une injection de vapeur, marchent avec une vitesse de deux tours pour le cylindre cannelé et un tour pour celui à table unie ; on place entre eux la toile à pétrir et on serre progressivement les cylindres ; la gomme entre dans les cannelures, et il en résulte un pétrissage continuellement répété, qui a pour effet de produire une grande homogénéité.

Examinerons-nous maintenant les divers usages auxquels le caoutchouc a su se plier ? Même une simple énumération nous entraînerait trop loin, car le caoutchouc, par ses propriétés diverses, a su marquer sa place partout : aux enfants il donne des jouets ; aux personnes de tout âge, des vêtements et des chaussures ; au savant, des appareils de laboratoire ; le médecin l'emploie dans la thérapeutique, l'ingénieur dans l'hydraulique, dans l'exploitation des chemins de fer, dans l'établissement des lignes télégraphiques, dans la pose des câbles sous-marins, dans le sautage des mines ; le mécanicien, dans la transmission des mouvements ; — en un mot, il serait difficile de trouver une industrie, un art dans lesquels il n'ait trouvé son application par suite du nombre prodigieux des transformations auxquelles il se prête. Nous citerons cependant à titre d'exception un produit qui n'est guère connu en France et qui a un grand succès en Angleterre ; c'est le *kamptulicon*, formé d'un mélange de liége et de caoutchouc, mélange qui est transformé en tapis de pied et en tapis de table, réunissant une grande solidité à une grande élégance.

La gutta-percha n'est en quelque sorte qu'une variété de caoutchouc, dont elle possède l'inaltérabilité par les agents chimiques en y joignant certaines propriétés physiques particulières : plus dure à froid, elle est plus molle à chaud et subit moins l'influence de la température au point de vue de l'élasticité.

C'est dans les forêts des îles de l'archipel de la Malaisie qu'on rencontre surtout l'arbre, l'*Isonandra gutta*, appartenant à la famille des Sapotées, qui nous donne la gutta-percha. Les Malais ont donné le nom de *niato* à cet arbre qui par incision laisse écouler un suc laiteux concret, que depuis fort longtemps ils ont su transformer par évaporation en une substance dont ils font des cravaches, des manches de couteaux, des vases, etc.

C'est le docteur Montgommery qui fit connaître la gutta-percha en Europe (1843), et qui y apporta des objets confectionnés avec cette substance. L'industrie s'empara de cette nouvelle matière première, et les habitants de la Malaisie, voyant avec quel empressement les Européens venaient leur acheter ce produit, voulurent augmenter leurs bénéfices en mélangeant la gutta-percha avec des gommes provenant d'autres arbres et avec d'autres substances étrangères.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce fut cette adultération qui fut la cause du perfectionnement de l'industrie de la gutta-percha : le traitement du caoutchouc fournissait un outillage tout préparé, auquel on ne dut faire subir que quelques modifications de détail pour arriver à l'épuration de la gutta-percha.

Le produit sécreté par l'*Isonandra gutta* a reçu en grande partie les mêmes applications que le caoutchouc. Parmi les plus récentes nous mentionnerons le moulage et la reproduction galvanique en cuivre de grandes pièces d'architecture et de statuaire. C'est ainsi que nous citerons la reproduction en grandeur naturelle de la colonne Trajane, qui a figuré à l'Exposition, et que M. Oudry avait obtenue par le moulage à la gutta-percha et un dépôt électro-chimique de cuivre.

Nous aurions encore à citer l'emploi de diverses substances telles que le balatta, la parkesine, etc. ; mais ce sont là ou des variétés de gommes ressemblant plus ou moins au caoutchouc et à la gutta-percha, ou des mélanges de ces deux derniers produits, ou des mélanges de ces produits avec d'autres substances.

Nous croyons qu'il ne sera pas sans intérêt pour nos lecteurs de connaître l'importance des affaires auxquelles donnent lieu en France le commerce et l'industrie du caoutchouc et de la gutta-percha. Les chiffres qui vont suivre sont empruntés aux Documents Statistiques réunis par l'Administration des douanes sur le commerce de la France et se rapportant au premier trimestre de l'année 1869. Ce sont par conséquent les documents les plus récents.

IMPORTATIONS. — Pendant les trois premiers mois de 1869 il a été importé en France :

Nature de l'importation.	Pays de provenance.	Quantités arrivées.	Quantités livrées à la consommation.	Valeurs actuelles.
Caoutchouc et gutta-percha purs.	Angleterre	167,019 kil.	154,809 kil.	613,043 fr.
	Brésil	72,800	72,800	288,288
	Autres pays	49,832	49,536	196,163
	Totaux	289,651 kil.	277,145 kil.	1,097,494 fr.
Ouvrages en caoutchouc ou en gutta-percha, autres que les instruments de chirurgie, simplement refondus, purs.	Angleterre	72,255 kil.	71,912 kil.	503,384 fr.
	Belgique	5,679	5,668	39,676
	Autres pays	7,037	4,789	33,523
		84,971 kil.	82,369 kil.	576,583 fr.
Idem, combinés avec ou appliqués sur d'autres matières.	Angleterre	21,509 kil.	20,625 kil.	226,875 fr.
	Association allemande.	6,044	3,035	33,385
	Autres pays	1,879	400	4,400
		29,432 kil.	24,060 kil.	264,660 fr.

EXPORTATIONS. — Pendant le même trimestre il a été exporté de France :

Nature de l'exportation.	Pays d'exportation.	Marchandises françaises et étrangères exportées.	Marchandises françaises ou francisées exportées.	Valeurs actuelles du commerce spécial.
Sucs d'espèces particulières caoutchouc et gutta-percha bruts ou refondus en masse.	Angleterre	24,366 kil.	24,366 kil.	96,489 fr.
	Villes hanséatiques	33,394	33,394	132,240
	Autres pays	13,004	10,492	41,549
		70,764 kil.	68,252 kil.	270,278 fr.
Ouvrages en caoutchouc ou en gutta-percha, autres que les instruments de chirurgie.	Angleterre	31,149 kil.	30,989 kil.	210,725 fr.
	Association allemande	13,614	13,614	92,575
	Royaume d'Italie	7,360	6,430	43,724
	Turquie	45,807	45,807	311,488
	Autres pays	19,864	12,791	86,979
		117,794 kil.	109,631 kil.	745,491 fr.
Idem, combinés avec d'autres matières.	Angleterre	1,896 kil.	1,844 kil.	12,447 fr.
	Association allemande	5,989	5,080	34,290
	Suisse	1,494	1,322	8,924
	Autres pays	12,785	7,915	53,426
		22,164 kil.	16,161 kil.	109,087 fr.

Eug. LACROIX,
Directeur des *Annales du Génie civil*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

POSTFACE

Arrivé à la fin de notre œuvre, nous croyons devoir répéter quelques paragraphes de l'Introduction qui se trouve en tête des *Études sur l'Exposition* :

« Notre but, nos moyens, les résultats auxquels nous prétendons arriver sont les suivants :

« Le *but*. Faire un livre d'enseignement par l'exposé véridique des faits ;

« Le faire utile à l'ingénieur, comme étant le correctif du formulaire et l'annexe du traité spécial d'une science d'application ;

« Le faire utile au manufacturier, au fabricant, à l'agriculteur, à l'ouvrier instruit, à l'érudit, en y groupant avec méthode les faits qui pourront toujours servir de point de départ pour apprécier l'idée nouvelle, l'invention proposée, le perfectionnement poursuivi ou atteint.

« Les *moyens*. Sous la forme d'introduction à chaque question traitée, rappeler les principes d'exploitation, de fabrication, de fonctionnement, d'établissement, suivant qu'il s'agit de métallurgie, de produits fabriqués, de machines motrices, etc., etc.

« Rappeler très-succinctement les applications graduelles, s'il y a lieu, antérieures à l'époque présente.

« A l'aide de l'introduction sommaire, mettre le lecteur étranger à la question traitée ou peu familiarisé avec elle en mesure de comprendre les procédés, les installations qui font loi dans la pratique, sans entrer dans des développements réservés à l'actualité.

« Décrire les spécimens figurant à l'Exposition ou *qui pourraient* y figurer, avec toute l'étendue que l'on doit donner au fait dominant.

« Nulle préférence de complaisance dans le choix des exemples.

« La description et l'analyse avec des croquis cotés, ou avec un dessin à l'échelle, de tout ce qui a une importance capitale.

« Une mention avec canevas figuratif, de ce qui n'est qu'accessoire.

« *Rien* de ce qui n'est que puéril.

« Les *résultats*. Si, ne pas séparer notre intérêt de ceux de nos lecteurs ; si, ne pas compter avec les sacrifices commandés par le début de toute œuvre importante ; si, l'indépendance d'appréciation et le savoir spécial des rédacteurs peuvent assurer un succès, les résultats satisferont notre ambition légitime et les exigences également légitimes d'un public éclairé. »

A l'époque où nous écrivions ces lignes, le palais de l'Exposition n'avait pas encore ouvert ses portes. Nos collaborateurs se mirent à l'œuvre et bientôt les fascicules commencèrent à se succéder avec rapidité ; mais lorsque le vingtième fut terminé, nous fûmes obligé de reconnaître que, malgré la bonne volonté de nos rédacteurs, le travail

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

était forcément resté incomplet, et encouragé par l'adhésion d'un grand nombre de nos souscripteurs, nous commençâmes la publication de quatre nouveaux volumes dont la dernière page est aujourd'hui entre les mains de nos lecteurs.

C'est à eux qu'il appartient de juger si, dans la mesure du possible, nous sommes resté fidèle à notre programme et si nous avons reculé devant les sacrifices de temps et d'argent qu'ont nécessités le choix et l'exécution des planches de nos deux albums et du nombre considérable de gravures intercalées dans le texte de nos huit volumes.

Nous saisissons cette occasion de remercier nos collaborateurs du concours empressé qu'ils nous ont donné, de l'étude consciencieuse qu'ils ont faite des sujets dont ils avaient accepté l'examen, de l'impartialité qu'ils ont montrée dans tous leurs jugements.

Loin de nous, cependant, la pensée d'affirmer que les *Etudes sur l'Exposition* soient une œuvre parfaite et qu'il n'y existe pas de lacune.

Le progrès, surtout le progrès industriel, ressemble à un livre dont le papier serait sans fin ; les pages succèdent aux pages et, plus le livre prend d'amplitude, plus se développent de vastes horizons qui nécessiteront l'emploi de nouveaux feuillets.

Nous ne voulons pas dire que ce qui est vérité aujourd'hui puisse ne plus l'être demain ; mais les applications des lois de la nature, de la physique, de la chimie, de la mécanique se modifient incessamment, et l'invention du jour est bientôt dépassée par une découverte nouvelle.

Citons un exemple : à l'Exposition de 1867, une petite usine dans laquelle on produisait de l'oxygène à bon marché se cachait plutôt qu'elle ne se montrait dans un endroit écarté sur les bords de la Seine ; aujourd'hui, l'éclairage oxydrique a conquis droit de cité et est devenu un procédé industriel.

Nos *Annales et Archives de l'Industrie* nécessiteront donc sans cesse et toujours de nouveaux suppléments si nous voulons tenir nos lecteurs au courant des progrès réalisés ; ces nouveaux travaux trouveront leur place naturelle dans les *Annales du Génie Civil* dont les *Études sur l'Exposition* ont été le complément pour les années 1867-1868.

Ce n'est donc pas un adieu que nous disons à nos souscripteurs : la plupart sont déjà abonnés aux *Annales du Génie Civil*, et les autres, nous en avons la conviction, ne tarderont pas à le devenir. C'est dans cette publication qu'ils retrouveront les auteurs des *Etudes*, et c'est dans les *Annales du Génie Civil* que nous continuerons à grouper tous les renseignements que nous pourrons recueillir sur les inventions, les perfectionnements et les applications nouvelles qui se produiront en France et à l'Étranger.

EUGÈNE LACROIX.

Paris, 10 Juin 1869.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Description des planches DE LA 8e SÉRIE.

(Pour les planches de la 1re série, voir T. I, p. 493 ; 2e série, T. II, p. 458 ; 3e série, T. III, p. VI ; 4e série, T. IV, p. VI ; 5e série, T. V, p. VI ; 6e série, T. VI, p. 449 ; 7e série, T. VIII, p. 462. — On trouve aussi la nomenclature des planches dans la légende qui accompagne les atlas des séries 1 à 4, et des séries 5 à 8).

Pl. 86. *Moteurs hydrauliques*. Bélier perfectionné de M. Bolée.
114. *Machines fixes*. Système Harvey, Watt, Grissel, Lebrun, Wilkins, Dickof, Crayford.
149. *Machines fixes*. Soufflerie à balanciers ; soufflerie verticale directes.
170. *Papeterie*. Pile raffineuse, élévation, plan et coupes.
199. *Machines-outils à travailler le bois* Machine à tailler les queues d'aronde, système Armstrong.
204. *Machines-outils à travailler le bois*. Scie à découper et à pédales de M. Gérard. Scie à lame sans fin de MM. Gschwindt et Zimmermann.
205. — Machine à mortaises obliques.
206. — Scie à lame sans fin.
207. — Scie à mouvement continu de M. Perrin.
212. *Les produits chimiques*. Appareil pour la concentration de l'acide sulfurique.
218. *Machines servant à la confection des vêtements*. Machine à bastir les chapeaux de feutre. Machine à souffler le poil.
218. — Machine à repasser les chapeaux de MM. Mathias et Legat.
220. *Produits chimiques*. Ensemble de la fabrication de l'acide stéarique par saponification calcaire.
221. *Papeterie*. Machine Voelter à fabriquer la pâte de bois.
221bis. *Moteurs hydrauliques*. Machine à colonne d'eau de Reichenbach. — *Idem* de Juncker. — *Idem* de Pfetsch à Varangéville.
222. *Papeterie*. Raffineuse centrifuge Montgolfier, dite pulp-engine. — Epurateur. — Porte-format et réglage de l'épaisseur du papier.
223. — Garde-toile de MM. Dautrebande et Thierry. — Surchauffage. — Sécherie. — Transmission de mouvement. — Epurateurs.
230. *Briques et tuiles*. Fabrication des briques ; moules, planes, position des fourneaux.
231. — Machine à étirer système Boulet frères. — Laminoir Jardin-Cazenave. — Presse à tuiles, Boulet frères. — Machine à étirer et presse réunies des mêmes. — Machine Durand.
232. — Presse à tuiles, syst. Schmerber.
233. — Malaxeur en tôle, crachant par le côté, à transmission inférieure. — Tailleuse verticale.
234. — Machine à fabriquer les briques creuses.
235. — Machine F. Durand.
236. *Produits chimiques*. Ensemble de la fabrication de l'acide stéarique par distillation.
237. — Appareil de M. Havrez pour le lessivage méthodique.
241. *Papeterie*. Coupeuse de MM. Dautrebande et Thierry. — Coupeuse de M. Verny.
242, 243, 244. *Charronnerie et carrosserie* Omnibus de la Compagnie générale de Paris.
245. *Produits chimiques*. Fabrication de l'acide stéarique par la décomposition aqueuse.
254. *Moulins à vent*. Fig. 1 à 6. Pressions et dispositions diverses ; 7, moulins à huile ; 8, roues girouettes ; 9 à 13, dispositions diverses ; 14, système Berton.
255. Fig. 15 à 23. Moulins Durand, Marrot, Jassenne.

Gravures de la huitième série.

Métaux bruts.

Fig. 1. Fourneaux pour l'extraction de l'étain.
2. Four à manche d'Atvidaberg.
3. Four à fondre le cuivre noir.
4. Four Rachette.

Confection des vêtements.

Chapellerie de feutre.

Fig. 1. Appareil pour les sécrétions mécaniques des poils.
Fig. 2. Le bastissage du poil.
3. Bâche de trempe des chapeliers.
4 et 5. Fouleuse Mossant.
6. Ponceuse Coq.
7. Appareil pour apprêt américain.
8. Machine Coanet pour dressage, repassage et repliage des bords.

Fabrication des chaussures.

9. Apprêteur mécanique Touzet.
10. Barre à ouvrir Touzet.
11. Machine à visser.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à coudre.

Fig. 12. Machine à coudre Thimonier.
13 et 14. Point de chaînette.
15. Machine à broder Hugard.
16. Point de chaînette double.
17, 18, 19, 20. Crochet double articulé.
21, 22, 23. Couture au point de navette.
24. Machine Élias Howe, primitive.
25, 26, 27, 28. Nouvelle machine Elias Howe.
29, 30, 31, 32, 33. Machine Wheeler et Wilson.
34. Machine Wheeler et Wilson modifiée.
35. Machine Reimann.
36. Devideur de biais et galons (pour chaussure).
37. Bordure automatique.
38, 39. Machine à coudre avec du fil poissé de MM. Hurtu et Hautin.
40. Cartouche pour couseuses mécaniques.

Sucrerie.

Fig. 1 et 2. Le concretor Fryer.
3, 4 et 5. Appareil à cuire dans le vide, de MM. Derosne et Cail.
6, 7. *Vacuum pan* de Greenwich.
8. Procédé d'extraction de MM. Possoz et Perrier.

L'imprimerie et les livres.

Fig. 7. Machine à composer de Mitchell.
8. » à distribuer de »
9. » à composer de Young.
10. » à distribuer. »
11, 12. Presse dite la Belle-Sauvoge.
13. Presse à imprimer, de Main.
14. La presse Marinoni (*Petit Journal*).
15, 16. Presse électro-magnétique.

Produits chimiques.

Acide sulfurique.

Fig. 1. Four coulant.
2. Four de M. Spence.
3. Appareil Verstraet.

Acides gras.

4. Fonderie, système Droux.
5. Cuve à saponifier.
6. Appareil à saponifier système Delapchier.
7. Cuve à saponifier Conwers.
8. Appareil à saponifier L. Droux.
9. Appareil Thilghman.
10. » Meisens.
11. » Wrigt et Fouché.
12. » Roubaix Jenar.
13. » Droux.
14. » de Milly.
15. » Distillatoire, Poisat.

Verres et cristaux.

Fig. 1. Verre dévitrifié.
2. Larmes bataviques.
3. Creusets des verreries.
4. 5. Four à régénérateur Siemens.
6. Fabrication des verres à vitres.
7. Canne de verrier.
8. Différentes phases de la fabrication.
9. Four à étendre. — 10. Four belge.
11. Four de fusion elliptique.
12. Machine à polir les glaces.
13. Fours de fusion pour le verre à bouteille et le cristal.
16. Phases de la façon d'un pot à eau.

Secours aux blessés.

Fig. 29. Tente d'ambulance américaine.
30, 31, 32. Tente française.
33. Plan général du service de santé des États-Unis.
34, 35. Hôpital de Philadelphie.
36. Chaise américaine.
37. Pince électrique.
38. Appareil de montage

Machines à vapeur fixes.

Fig. 1 à 14. Mécanisme de transmission.

Minéralogie.

Allure du gîte pétrolifère de Schwalewiller, dans le Bas-Rhin.

Charronnage et carrosserie.

Fig. 1. La volante de la Havane.
2. Voiture de place, à Pékin.
3. Déplacement des rouleaux.

Fonderie en caractères.

Fig. 1. Le typomètre.
2. Casse à un seul compartiment.
3. Machine à brûler (stéréotypie).
4. Presse pour faire les clichés.
5. Galvanoplastie. Pile et cuve.
6. Atelier d'électrotypie.
7. Batteries électriques.
8. Stéréotypie.

Cordages.

Fig. 1. Peigne. — 2. Rouet. — 3. Molette. 4, 4bis, 5. Émérillon. — 6. Support des cordes. — 7. Rouet. — 8, 8bis, 9. Molette. — 10 et 10bis. Moule en bois massif. — 11. Câblage au chariot.

Galvanoplastie.

Fig. 1. Appareil simple pour petits objets.
2. Appareil pour l'industrie.
3. Reproduction d'un buste en plâtre.
4, 5, 6, 7. Procédé Lenoir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LES HUIT VOLUMES DES ÉTUDES SUR L'EXPOSITION

ANNALES ET ARCHIVES DE L'INDUSTRIE AU XIX^e SIÈCLE[1]

Introduction, par M. Eugène Lacroix, Tome I, page 1re.

I. Les beaux arts et l'industrie, par M. Daguzan, artiste peintre. Considérations générales, T. I, 5 ; examen des œuvres qui figurent à l'Exposition, 10.
Suite de cet examen (pl. 65 bis, 126, 127, 128, 129), T. III, 339.

II. Etude sur l'impression et la teinture des tissus, par M. Dr Kaeppelin, chimiste industriel.
Aperçu historique, T. I, 13 ; marche progressive de la fabrication, 18 ; teinture, 37.
Différents genres de fabrication, T. I, 415; Exposition, France, 418 ; étranger 432.
Machines employées dans les fabriques d'étoffes imprimées (pl. 4, 5, 6, 49, 50), T. II, 90 ; gravure des rouleaux, 101; matières colorantes 102 ; dessin pour les impressions des tissus, 117 ; conclusions, 119.

III. Machines à vapeur, par M. Jules Gaudry, ingénieur au chemin de fer de l'Est, et M. Ortolan, mécanicien en chef de la flotte. Introduction, T. I, 40 ; locomotives, 41 ; locomotives à tender-moteur (pl. 1 et 2) 44 ; locomotives-tender à 4 cylindres (pl. 3), 49 ; locomotives de montagne de systèmes divers, 53.
Machines à vapeur de navigation fluviale et maritime. Historique, T. II, 57 ; conditions générales que doivent remplir les machines de navigation, 62 ; générateurs de la vapeur des machines de navigation, 113.
Locomotives, deuxième article, T. II. Locomotives ordinaires à marchandises à 8 roues fixes (pl. 20), 1 ; locomotives à 6 roues couplées ordinaires, 3 ; locomotives à 4 roues couplées (pl. 21 et 22), 7 ; locomotives à roues libres, 16 ; petites locomotives dites de mines, de gare, 19.
Locomobiles (pl. 95, 96, 97, 98, 99), T. IV, 64 ; locomobiles anglaises, 74 ; locomobiles françaises (pl. 160, 165), 454; locomobiles de diverses nations, 472.
Suite des chaudières (pl. 8, 9, 42, 43, 157 158, 159, 161, 162, 163, 167). Force nominale et force effective des générateurs, T. V, 132 ; chaudières de systèmes divers, 134; des appareils moteurs ou machines proprement dites, 164.

IV. Horlogerie dans toutes ses parties y compris les horloges électriques, par M. J. Berlioz, ingénieur-constructeur. Article préliminaire, T. I, 64; horlogerie à l'usage civil et ses applications électriques, 77.
Deuxième partie (pl. 238, 239, 240). Principe de tout mécanisme d'horlogerie, T. VII, 317 ; systèmes d'échappements et de remontoirs, 318 ; horloge du Conservatoire, 324 ; exposition française, transmission par l'air et par l'électricité, 324 ; exposition américaine 337, section anglaise, 346.

V. Le génie rural par M. J. Grandvoinnet. Préliminaires, T. I, 82 ; machines agricoles à l'exposition agricole de 1867, 83.
Les charrues (pl. 121, 122, 133), T. III, 403.
Presses et pressoirs (pl. 131 et 132). Observations préliminaires, T. IV, 88 ; des mécanismes de compression, partie théorique, 89 ; description de pressoirs de systèmes divers, 100 ; pressoirs hydrauliques, 121.
Machines à vapeur rurales (pl. 169[1]). Préliminaires, T. VII, 250; prix de revient de l'unité de travail moteur dans les machines à vapeur rurales, 251 ; base

[1] C'est par erreur que cette planche est indiquée sous le n° 223 à la page 250.

[1] Une table complète par noms d'auteurs et par ordre des matières des huit volumes des *Études* et des sept premières années des *Annales du Génie civil*, dont ces huit volumes sont le complément, formera un volume qui sera prochainement distribué à nos abonnés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du jugement des machines à 4 chevaux, 252; pratique, 253; jugement des machines de 2 et 6 chevaux, 255.

Râteaux. Préliminaires (pl. 224, 225, 226, 227, 228, 229). Observations préliminaires, T. VII, 263; perfectionnements du râtelage à la main, 266; des râteaux à cheval, 268; du jugement des râteaux, 274; description de plusieurs systèmes de râteaux, 278.

VI. Tissus, par M. Eugène Parant, fabricant de tissus. Généralités, T. I, 101.

Filature et tissage, soie (pl. 57), T. II, 191; tirage et moulinage, 207.

Suite de la soie, T. III, 94; matières textiles chez le producteur, 95; coton, 96, chanvre et lin, 105; laines, 115; matières textiles diverses, 123.

Procédés de fabrication (pl. 52, 181, 182). T. IV 322; matières à tisser, 325; dessin, 346; fils et tissus de coton, 347; id de chanvre 356; id. de laine peignée et de laine mélangée, 365; id. de laine cardée, 374; fils de soie, etc., 380; étoffes pour ameublement, 390; châles, 396; conclusions, bilan de l Exposition, 403.

VII. Les cartes et les globes, par M. Endymion Pieraggi, T. I, 110; section française, 335.

Section allemande, T. III, 71; russe, suédoise, norwégienne, danoise, 76; espagnole, italienne, danubienne, helienique, 77; américaine, 78.

VIII. Étude sur les goudrons et leurs nombreux dérivés, par M. C. Knab, ingénieur chimiste. Introduction et historique, T. I, 132; goudron de houille, traitement, 140.

Description des appareils, T. II, 292.

IX. Constructions civiles, habitations, par M. Lucien Puteaux, architecte constructeur (pl. 10, 11, 12, 13). Considérations générales, T. I, 158; habitations à bon marché pour un seul ménage, 163; habitations à l'usage des travailleurs de l'industrie, de MM. Houget et Teston, de Verviers, 167.

Habitations types en France (pl. 135), T. IV, 131; en Angleterre, 143; en Allemagne, 144; en Amérique, 146; en Russie (pl. 136), 147.

X. Le mobilier, par M. Léon Château. Généralités, T. I, 169; meubles de luxe, 170; meubles des peuples de l'antiquité, 175; la renaissance, 177; temps modernes, 180.

Examen des meubles exposés, pays étrangers, T. II, 457.

Exposition française (pl. 58, 59, 79), T. III, 81.

XI. Fabrication des papiers peints, par M. Dr Kaeppelin, chimiste-manufacturier. Historique, T I, 183; fabrication; 188; produits exposés, France 193, pays étrangers, 199.

XII. La sucrerie indigène, étrangère et exotique, par M. N. Basset. Généralités, T. I, 205; fabrication 208; le sucre a l'Exposition, 215.

Sucrerie française indigène, T. III, 154; le sucre candi, 165; sucrerie coloniale française, 169.

La sucrerie étrangère, T. VIII, 101; matériel et outillage, 111.

Appendice, par M. Eug. Lacroix, sur la construction de quelques nouveaux appareils 122.

XIII. Bijouterie, joaillerie, par M. P. Schwaeblé, ingénieur civil, ancien élève de l'École polytechnique. Historique, T. I, 221; exposition française, 225.

XIV. Les animaux domestiques, par M. Eug. Gayot, membre de la Société impériale et centrale d'agriculture de France. Les races spécialisées pour la boucherie, la viande et la graisse, T. I, 233. Les reproducteurs des races bovines, laitières, 243, 354.

Le mehari (pl. 29) T. II, 58; les chevaux (pl. 33, 34, 35), 268; les reproducteurs de l'espèce porcine, 412.

Les animaux de basse-cour (pl. 74, T. III, 51; les chiens (pl. 75 et 76), 56; les ânes, les mulets, les races chevalines mélangées, 62; les bêtes bovines (pl. 36 et 37), 66.

XV Les tulles et les dentelles, par M. S.-F. Thomas, ingénieur-manufacturier. Historique, T. I. 249; fabrication, 252; l'Exposition de 1867, 256.

Tulle fantaisie, T. II, 471.

XVI. Matériel et procédés de l'exploitation des mines, par MM. E. Soulié et Alfred Lacour, anciens élèves de l'École des mines (pl. 14, 15, 16). Introduction, T. I, 259: perforateurs et machines destinés à abattre la houille, 269.

Fin des perforateurs, etc. (pl. 25, 26, 27 et 28), T. II, 36.

Aérage (pl. 118, 119), T. IV, 437; éclairage, 438; épuisement, 444; notes rectificatives, 451.

Sondages (pl. 115, 120, 150), T. V, 260; outils travaillant au fond, 264; instruments de vidange et de nettoyage, 269; outils élargisseurs, 272; sondage à grand

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diamètre, 274 ; fonçage en Westphalie, 278.

XVII. Bois et forêts, par M. A. Robinson. Exploitation, bois de chauffage, de construction et de marine, T. I, 282.

XVIII. Les habitations ouvrières, par M. le comte Foucher de Careil. Histoire du logement, T. I, 307 ; examen de l'Exposition, 310.
Maisons de l'avenue Daumesnil (pl. 31, 32, 33), T. II, 63.
Habitations étrangères (pl. 51, 52, 116 et 117), T. III, 263 ; conclusions, 272.

XIX. Les instruments de musique, par M. Félix Boudoin. Notions historiques, instruments à vent, T. I, 321 ; instruments à cordes, 324 ; instruments à percussion, 326.
Des expositions antérieures à 1867, T, II, 141 ; Exposition de 1867, les orgues, 143.
Orgues expressives, T, III, 208, pianos, 218.
Appendice aux pianos, T. VII, 115 ; instruments à cordes et à archets, instruments à vent en cuivre et en bois, instruments à percussion, 116 ; instruments de musique chez les peuples barbares, 121 ; statistique de l'industrie de la fabrication des instruments de musique à Paris, 126.

XX. Etude sur l'essai et l'analyse des sucres, par M. Emile Monier, ingénieur civil, membre de la Société chimique de Paris, T. I, 327.

XXI. Les appareils météorologiques enregistreurs, par M. A. Pouriau, docteur ès-sciences, sous-directeur et professeur à l'Ecole de Grignon (pl. 17). France, T. I, 342.
Etats pontificaux, T. II (pl. 65), 312.
Suisse (pl. 77 et 78), T. III, 3.
Suite — Suisse (pl. 100), T. IV, 52 ; Suède, Italie, 57 ; Autriche, Angleterre, 58 ; France (appendice), 60.

XXII. La télégraphie, par M. le comte de Moncel. Coup d'œil retrospectif sur les Expositions précédentes, T. I, 364 ; télégraphes à cadrans, 367 ; écrivants, 369 ; imprimeurs, 373 ; autographiques, 383 ; transatlantique, 389 ; accessoires, 394.
Supplément, T. II, 136.
Deuxième supplément, T. III, 453.

XXIII. Les métaux bruts, par M. H. Dufrené. De l'acier (pl. 19), T. I, 445.
Suite de l'acier, produits exposés, T. IV, 34 ; le fer et la fonte (pl. 101), notice historique, 36 ; la métallurgie actuelle, 39 ; l'affinage au bois, à la houille, 43 ; les fers et les fontes à l'Exposition, 48.
Le cuivre, le plomb, l'étain, le zinc, notice historique, T. VIII, 19 ; métallurgie de l'étain, 25 ; le cuivre, son extraction, 27 ; méthode anglaise, 28 ; traitement des minerais et du cuivre, 29 ; le plomb, 31 ; la coupellation, 34 ; le zinc, 35.

XXIV. La sellerie, par M. de Forget, T. I, 468.

XXV. Les corps gras alimentaires, par M. Armand Robinson. Considérations générales, T. I, 480 ; le lait, 481.
Le beurre, T. II, 247 ; les fromages, 255.
Suite des fromages (pl. 45, 66, 67 et 68), T. III, 237 ; les fromages français, 246.

XXVI. Des divers appareils servant à élever l'eau pour alimentations, irrigations et épuisements, par MM. Chauveau des Roches et Belin, ingénieurs civils anciens élèves de l'École centrale (pl. 23 et 24). Notice historique, T. II, 25 ; machines et appareils autres que les pompes. 32.
Suite (pl. 138, 139, 140, 168, 183 et 184), les écopes, les chapelets, T. V, 47 ; appareils divers, 48 ; pompes proprement dites, 50 ; pompes rotatives, 65.

XXVII. Instruments et machines à calculer, par M. Michel Rous, capitaine d'artillerie. Préléminaires, T. II, 69 ; instruments, 70 ; machines à calculer, 73 ; procédés approximatifs, 74 ; instruments pour l'enseignement, 76 ; cadrans compteurs, 79 ; notions diverses, 80 ; compteurs pour voitures, 82 ; planimètre polaire, 87.

XXVIII. Production industrielle du froid, par M. H. Dufrené (pl. 44), T. II, 124.

XXIX. Engins et appareils des grands travaux publics, par M. G. Palaa (pl. 38, 39, 40, 41) Introduction historique, T. II, 370 ; examen de l'Exposition, 376 ; cintres, échafaudages des ponts, 376 ; appareils des travaux du canal maritime de Suez. 385.
(Pl. 144, 145 146, 147, 148). Travaux publics à l'étranger, T. V, 3 ; appareils de lançage des tabliers des grands ponts métalliques, 5 ; coulage des blocs pour la construction des digues maritimes, 11 ; montage des matériaux, engins des travaux de fondations et machines diverses, 18.
(Pl. 213, 214, 215, 216). Suite du montage des materiaux et machines diverses, T. VI, 423 ; grues, 428 ; machines à battre et à recéper les pieux, 440 ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

engins des travaux du souterrain des Alpes, 443.

XXX. Marine. Le sauvetage des naufragés, par M. Jules de Crisenoy, ancien officier de marine (pl. 46, 47, 48, 53, 54, 55)

Préliminaires, T. II, 149 ; aperçu historique, 150 ; bateaux de sauvetage, 153 ; radeaux de sauvetage, 166; porte-amarres, 171 ; appareils pour la mise à l'eau des embarcations par gros temps, 177 ; appareils divers, 183 ; publications relatives au sauvetage des naufragés, 188 ; conclusions, 189.

XXXI. Bronzes et fonte d'art, ouvrages d'art en métaux, par M. A. Guettier. Introduction, T. II, 211 ; le bronze, 213.

Application de la fonte de fer, T. III, 312 ; examen des produits exposés, 326 ; la galvanoplastie, 333 ; le repoussage, 335.

XXXII. Art militaire, par MM. Michel Rous et P. Schwæblé, anciens élèves de l'École polytechnique (pl. 62, 63, 64). Armes portatives, T. II, 227 ; armes à feu, 226.

Les armes à l'Exposition (pl. 69, 70, 108). France, T. III, 380; fusils à aiguille, 383 ; les armuriers de Paris, 390 ; de Saint-Etienne, 397 ; transformations des anciens fusils, 399 , application de l'électricité au tir, 401.

Armes de guerre (pl. 137). T. V. 101; système de chargement par la culasse, 103; divers systèmes de fusils, 107 ; revolvers, 117 ; mitrailleuses, 123.

XXXIII. L'imprimerie et les livres, par M. Aug. Jeunesse, secrétaire de la rédaction des *Annales du Génie civil*. Origine de l'imprimerie, T. II, 326 ; côté technique de l'art typographique, 330 ; l'impression à bras, 338 ; l'impression mécanique, 341.

Les livres. En France, T. VIII, 130 ; à l'étranger, 135 ; le matériel : composition, tirage, 150.

XXXIV. Appareils et produits agricoles pour l'alimentation et les arts industriels, par M. Rouget de Lisle. Considérations sur l'agriculture, T. II, 344 ; céréales, 349 ; farineux, 351 ; semoules, 352; légumes, 354; appareils et machines agricoles, 357.

XXXV. Appareils plongeurs. Cloches, scaphandres, nautilus, par M. E. Eveillard, ancien officier de la marine impériale (pl. 61). Notice historique, T. II, 359 ; appareils divers, 360.

XXXVI. Boulangerie et pâtisserie, par M. Henri Villain (pl. 71 et 72). Historique, T. II, 445 ; fabrication, 447.

Suite de la fabrication. T. VII, 296 ; description des divers systèmes de fours, 298 ; comparaison entre le travail à bras et le travail mécanique, 303 ; pains de munition et biscuits d'embarquement, 305 ; pains de fantaisie et de diverses sortes, 309; pâtisserie, 313; pain d'épices, 314.

XXXVII Constructions maritimes, par M. G. de Berthieu, ingénieur-constructeur. Historique et considérations générales, 397.

La marine militaire (110, 111, 112, 113), T. IV, 223 ; la marine impériale, 223 ; les roulis, 227 ; les revêtements métalliques, 231 ; les cuirassés et l'artillerie, 233 ; comparaison de types appartenant à diverses nations, 239; les vaisseaux marchands et les bâtiments de plaisance, 245 ; résultats de l'enquête de la Société des *Naval architects*, 247; bâtiments longs-courriers, 250 ; engins spéciaux, 254 ; bateaux-phares, bateaux de pêche, etc., 256.

XXXVIII. Hydroplastie (électro-chimie, galvanoplastie), par A. de Pazanet, ingénieur des arts et manufactures (pl. 65 et 73). Electro-chimie, T. II. 417 ; décapages, 419 ; dépôts métalliques par simple immersion, 423 ; id. par voie de double affinité, 433 ; dépôts galvaniques en couches minces, 437.

Argenture galvanique, T. IV. 159.

Galvanoplastie, T. VIII, p. 541.

XXXIX. Sylviculture, système d'aménagement et d'exploitation, reboisement, par M. Alexis Frochot. Généralités, T. III, 17 ; instruments pour l'élagage, 26 ; examen de la situation au point de vue de l'exploitation et du reboisement, 29.

XL. Conserves alimentaires par Maurice Boucherie. Notions statistiques, T. III, 34 ; causes qui déterminent l'altération des viandes, 37 ; histoire des conserves, 38 ; l'Exposition de 1855, 40 ; de 1867, 41.

XLI. Moteurs hydrauliques, par MM. Vigreux et Raux, ingénieurs civils (pl. 80, 81, 82, 83, 84, 85). Généralités et notices préliminaires, T. III, 126 ; roues hydrauliques ordinaires, à arbre horizontal, 127 ; les turbines, 138.

Machines à colonne d'eau, T. VIII, 521, pl. 86, 221.

XLII. L'Orient, par M. B.-J. Dufour, député du commerce français à Constanti-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nople. Règne animal, T. III, 177 ; règne végétal, 191 ; règne minéral, 195 ; ordre industriel, 195 ; ordre architectural et artistique, 196.

La Perse, par M. Michel Rous (pl. 166), Considérations préliminaires, T. IV, 303 ; produits de l'agriculture persanne 305 ; les mines, 308 ; règne animal, 308, les tentes, 313 ; l'architecture, 316 ; les objets d'art, 318.

Chine et Japon, par M. Champion (pl. 185, 186, 187, 188, 189, et 190). T. V, 282 ; régime alimentaire, 283 ; agriculture, 284 ; matières premières, 285 ; porcelaine, 288 ; teinture, 289 ; bijouterie, dessins, gravures, figurines, 291 ; soies, cotons, etc., 293 ; papier, 295 ; exhibition de Chinois et de Japonais, 297 ; architecture, 298 ; conclusions, 305 ; légende des gravures, 305.

Les maisons flottantes et les maisons sur pilotis du royaume de Siam (pl. 164), T. V, 438.

XLIII. La construction du Champ-de-Mars, par M. Eug. Lacroix, membre de l'institut royal des ingénieurs hollandais, directeur des *Annales du Génie civil* (pl. XVIII, plan de l'Exposition), T. III, 199.

XLIV. Revue des produits céramiques, par MM. A. et L. Jaunez. Préliminaires, T. III, 229 ; classification, 232 ; 1re classe, argile, etc., 234.

2me classe, produits céramiques cuits en une seule fois, etc., T. IV, 407 ; 3e classe, poteries d'argile couvertes, 414 ; 4e classe, faïences, 418 ; 5e classe, faïences fines modernes, 425.

6e classe, porcelaine tendre, T. VI, 235 ; 7e classe, porcelaine dure, 238 ; conclusions, 244.

XLV. Le locomoteur funiculaire, système Agudio, pour la traction sur les chemins de fer à fortes rampes, par M. Émile Soulié (pl. 123, 124, 125), T. III, 274.

XLVI. Industries des vêtements, fourrures, chaussures, lingeries, bonneteries, coiffures, modes et parures, par M. Rouget de Lisle. Aperçu historique, T. III, 284 ; premiers vêtements en peaux et fourrures, 287 ; commerce des pelleteries et des fourrures, 290 ; chaussures anciennes, 294 ; chaussures françaises, 298 ; perfectionnements des cuirs et des chaussures modernes, 301 ; imperméabilisation, 303 ; fabrication mécanique, 306 ; chaussures hygiéniques, 310.

Lingeries pour hommes et pour femmes, T. V, 390 ; tricot à l'aiguille et bonneterie au métier, 397 ; chapellerie ancienne, 405 ; moderne, 405 ; coiffures distinctives des dignités, 407 ; perfectionnements de la chapellerie, 408 ; bastissage et feutrage, 412 ; chapeaux et tissus divers, 415 ; chapeaux mécaniques, 420, coiffures militaires, 422 ; formes et modes des chapeaux d'hommes, 425 ; coiffures de dames, 427 ; coiffures de cuir, de crin, chapeaux de paille, etc., 428 ; importance de la chapellerie, des modes et parures pour dames, 430 ; distribution des récompenses, 432.

XLVII. La minéralogie et la géologie, par M. A.-F. Noguès, professeur de sciences physiques et naturelles à l'École centrale lyonnaise (pl. 60). Introduction, T. III, 347 ; *minéralogie* : matières premières, minerais et minéraux utiles, 350 ; diamant, taillerie, 352 ; émeraudes, 264 ; corendon, rubis, saphir, 367 ; spinelle, topaze, 369 ; grenat, 370 ; tourmaline, 372 ; lapis-lazuli, 373 ; turquoise, 374 ; cristal de roche, agate, opale, etc., 375.

Combustibles minéraux, T. IV, 175 ; graphite, 176 ; anthracite, 184 ; houilles, 190 ; lignites, 220.

Suite des lignites, T. VIII, 321 ; tourbes, 323 ; argiles céramiques, 336 ; minerais métallifères 344 ; caractères des diverses espèces de minerais de fer exposés, 347.

XLVIII. Insectes utiles et nuisibles, par M. A. Gobin, professeur de zootechnie. Préliminaires historiques, T. III, 419 ; *insectes utiles*, producteurs de cire et de miel, apiculture, 422 ; exposition apicole, 431 ; emploi du miel, de la cire, etc., 433 ; insectes producteurs de soie, 434 ; les exposants de cocons, 440 ; insectes producteurs de cochenille, 445 ; insectes employés en médecine, 450 ; servant à l'alimentation de l'homme, 452 ; servant d'ornement pour la parure, 452.

Insectes nuisibles aux arbres des forêts et plantations, T. V, 192 ; aux arbres fruitiers, 195 ; aux plantes potagères, 199 ; aux cultures fourragères, 201 ; aux céréales, 204 ; aux plantes industrielles, 206 ; attaquant les grains, 210 ; nuisibles aux animaux domestiques, 212 ; insectes auxiliaires de l'homme, 214 ; animaux destructeurs d'insectes, 215 ; animaux nuisibles aux cultures, etc., 218 ; les insectes et animaux nuisibles, à l'Exposition, 221.

XLIX. Industrie du gaz, par M. d'Hurcourt (pl. 143). Historique, T. IV, 1 ; rendement et puissance éclairante du gaz, 5 ; construction des foyers, 9 ; les cornues, 11 ; rendement en gaz, 13 ; becs et brûleurs, 21.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Conduites de gaz, T. VI, 389 ; régulateurs, 403 ; oxygène, 406 ; gaz portatif, 408 ; fabrication du gaz, 414.

L. Machines-outils à travailler le bois, par MM. A. Raux et L. Vigreux (pl. 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 103, 108). Aperçu historique, T. IV, 258 ; machines à trancher pour corroyer le bois, 261 ; machines à blanchir et dresser sur les quatre faces, 273 ; machines dont les outils attaquent le bois par percussion ou en le perçant, 296.

Outils à travailler le bois en le sciant (pl. 94, 199, 204, 205, 206, 207). Données générales, T. VIII, 1 ; historique, 2 ; les scies exposées, 9 ; travail des mortaises en queue d'hironde, 15 ; travail des tenders, 16.

LI. Appareils et instruments de l'art médical ; matériel des secours à donnée aux blessés sur le champ de bataille ; ambulances civiles et militaires destinées au service des armées de terre et de mer ; société internationale de secours pour les blessés, par le docteur Gruby. Considérations préliminaires et notice historique, T. V, 24 les véhicules, 31 ; les brancards, 41 ; sac-brancard, 45.

Suite des brancards et autres modes de transport, T. VIII, 277 ; abris et tentes, 280 ; service de santé des États-Unis, 283 ; hôpital de Philadelphie, 285 ; *appendice* sur divers appareils, 289.

LII. La chasse et la pêche, par M. A. Jeunesse. Origines historiques, T. V, 71 ; la chasse, 73 ; les produits, 74 ; la pêche et les cueillettes, 80 ; la pêche de la morue, 84 ; produits de la pêche chez les différents peuples, 91.

LIII. Les monnaies, par M. Hector Dufrené. Notice historique T. V, 171 ; la monnaie au marteau, 180 ; l'essai des lingots, 181 ; la fusion, 182 ; préparation des flans, 183 ; découpage, 185 ; le balancier et la presse, 187 ; le pesage, 188 ; valeur intrinsèque de quelques monnaies anciennes, 190 ; valeur réelle des monnaies françaises et étrangères, 191.

LIV[1]. Etude sur la gravure, par M. Henri Gobin. Préliminaires, T. V, 224 ; coup d'œil rétrospectif, 225 ; chalcographie, 230 ; gravure au burin, 232 ; à l'eau forte, 235 ; à la manière noire, 241 ; l'aqua-tinte, 242 ; en couleur, 243 ; imitant le crayon, 244 ; sur bois, 245 ; panicnographie, 253 ; néographie, 254 ; procédés physico chimiques Dulos, 254 ; procédé Salmon et Garnier, 257 ; gravure mécanique, 258.

LV. Artillerie, par M. Michel Rons (pl. 102, 103, 105, 106, 107, 151, 152, 153, 154, 155, 156). Préliminaires, projectiles, bouches à feu, affûts, canons rayés, T. V, 307 ; artillerie anglaise, 328 ; fusées de projectiles creux, 329.

Affûts qui permettent de réduire les dimensions des embrasures, perfectionnements divers, ateliers militaires, T. VII, 127 ; canons Krupp, 130 ; artillerie de diverses puissances : Angleterre, Autriche, 140 ; États-Unis, 145 ; France, 149 ; valeur des diverses matières et pièces qui composent le matériel de l'artillerie, 152 ; artillerie prussienne, 153 ; conclusions, 156.

LVI. Blanchiment, blanchissage, apprêt, blanchiment, par M. Dr Kaeppelin (pl. 130, 202, 203). Tissus de coton, T. V, 372 ; appareils de lessivage des tissus de coton, 381 ; blanchiment des étoffes de laine, de laine chaine coton et de soie 386.

LVII. Appareils de distillation par M. J. Grandvoinnet (pl. 197, 198). Description des appareils, T. V, 433.

LVIII. Histoire du travail par M. Hector Dufrené. L'âge de pierre, T. VI, 370 ; l'âge des métaux, l'Égypte, 371 ; la vallée du Tigre et de l'Euphrate, la Phénicie, 373 ; la Judée, 374 ; la Grèce, 375 ; Rome, 376 ; l'industrie nationale ; la Gaule 378 ; les Mérovingiens, 379 ; Charlemagne, 380 ; les Croisades, les corporations, 381 ; le quinzième siècle, 383 ; la renaissance, 384 ; le dix-septième siècle, Colbert, 385 ; révocation de l'édit de Nantes, le dix-huitième siècle, 387 ; le dix-neuvième siècle, 388.

LIX. Blanchissage par M. Dr Kaeppelin. Généralités, T. VI, 415 ; blanchissage dans les ménages 416 ; appareils des grandes blanchisseries, 419.

LX. Les instruments de précision, de physique et de navigation, par E. Garnault, ancien élève de l'École normale supérieure, professeur d'hydrographie, chargé du cours de physique à l'École navale impériale (pl. 109, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180). Préliminaires, T. VI, 1 ; *Instruments de navigation*, 7 ; *métrologie*, longueurs 15 ; distances, 18 ; angles, 38 ; pesanteur 41 ; chronographes, 43 ; *pneumatique*, 53 ; *acoustique*, 316 ; *optique* 319 ; sources de lumière, photomètre, 320 ; réflexion, ré-

[1] Portant par erreur le n° LIII.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fraction, 321 ; dispersion 324 ; chambre noire, chambre claire, lunettes, télescopes, 326 ; microscopes, 327 ; polarisation, 337 ; *chaleur*, thermomètre, 338 ; propagation de la chaleur, 341 ; changements de volume et d'état, 342 ; *magnétisme*, 342 ; *électricité*, statique, 343 ; dynamique 355.

LXI. Enseignement primaire et enseignement professionel par M. Léon Château. Préliminaires. T. VI, 62 ; nécessité de rendre l'instruction primaire obligatoire, 65 ; développements historiques sur l'enseignement primaire chez différents peuples, 67 ; exposition scolaire de la Prusse. 82 ; les Etats allemands, 85 ; la Suisse, 95 ; les Etats scandinaves, 96 ; l'Angleterre, 98 ; les États-Unis, 107 ; la Russie, la Turquie, l'Espagne, 109 ; l'Italie, 110 ; la Hollande, 112 ; la Belgique, 113, la France 194 ; origine de l'enseignement professionnel, 202 ; enseignement populaire des filles, 214 ; l'Exposition, 217.

LXII. Enseignement populaire, par M. Henri Harant. Le rôle de cet enseignement, T. VI, 114 ; cours publics faits aux ouvriers, 116 ; bibliothèques populaires, 132 ; conférences, 141.

LXIII. Les produits chimiques et le matériel des arts chimiques, par M. Léon Droux, ingénieur civil. Notice historique sur les origines de la chimie, T. VI, 146 ; la chimie moderne, 150 ; classification des exposants, 153.

Deuxième article (pl. 212, 236, 237. 245). L'acide sulfurique, T. VIII, 163 ; la potasse, 188 ; la soude, 200 ; le sel de soude, 208 ; acides gras, bougies stéariques, 212.

LXIV. Lithographie, chromo-lithographie, autographie, gravure sur pierre, machines à imprimer, par M. Dr Kaeppelin. Applications usuelles de la lithographie, T. VI, 155 ; historique, 156 ; définition et explication du travail lithographique, 162 ; spécimens d'impression lithographique, 170 ; matériel d'impression lithographique mécanique, 175.

LXV. Des pierres artificielles, par M. Paul, ingénieur civil. Historique, T. VI, 180 ; matériaux terreux, 183 ; à base de chaux, de ciment et de silicate, 186 ; utilisation de divers résidus, 192.

LXVI. Arboriculture fruitière et viticulture, par M. Charles Baltet, horticulteur à Troyes, délégué de la viticulture à l'Exposition universelle (pl. 51, 200 et 201). Préliminaires, T. VI, 245 ; multiplication des arbres fruitiers, première éducation, 246 ; greffage, 250 ; multiplication de la vigne, 256 ; végétaux à fruits comestibles, culture des arbres fruitiers, 260 ; culture de la vigne, 277 ; fruits, 285 ; fruits nouveaux, peu connus ou locaux 286 ; fruits anciens, 296 ; fruits à cidre, 303 ; raisins, 305 ; commerce des fruits, 311 ; légende du plan de la pépinière, 315.

LXVII. Photographie, par M. Tronquoy. Esquisse des progrès réalisés, T. VII, 1 ; matériel, 6 ; objectifs, 7 ; chambres noires, 15 ; appareils panoramiques, 18 ; tentes de voyage 20 ; laboratoire 22 ; appareils de grandissement, 29 ; procédés et applications de la photographie, 35 ; épreuves positives 41 ; photogravure 46 ; vitrifications photographiques, 48 ; application de la photographie à la cartographie et à la géodésie, 51 ; à l'architecture, 54 ; photosculpture, 55 ; photographie appliquée à la topographie, 56 ; emploi de lumières artificielles, 63.

LXVIII. Cuirs et peaux, tannage, corroyage, mégisserie, etc., par M. Henri Villain. Historique, T. VII. 65 ; les peaux et leur organisation, 66 ; substances tannantes, 69 ; travail des peaux et tannages, 74 ; des divers procédés de tannage, 80 ; corroyage des cuirs, 94 ; progrès de la corroierie, 96 ; de la mégisserie, 100 ; maroquin, 102 ; cuirs vernis, 105 ; parchemin, 107 ; examen des produits exposés, 108.

LXIX. Chemins de fer. — Voitures et wagons, par MM. A.-C. Benoit Duportail et J. Morandière (pl. 191, 192, 193, 194, 195, 196). Introduction, T. VII, 158 ; examen des voitures exposées, voitures françaises, 161 ; voitures étrangères, Pays-Bas, 180 ; Belgique, 184 ; Prusse, 186 ; Suisse, 193 ; Canada, 196 ; Grande-Bretagne, 199 ; wagons à marchandises, 201 ; tableau des conditions d'établissement des véhicules des trains de voyageurs, France, 204 ; idem pour les véhicules étrangers, 205 ; idem pour les trains de marchandises, français et étrangers, 206. Détails de construction relatifs aux voitures et wagons, châssis, 207 ; essieux et roues, 208 ; graissage, 211 ; ressorts, 215 ; éclairage, 216 ; freins, 217 ; choses diverses, communications, 223 ; objets divers, 228 ; détails divers pour voitures et wagons, 231.

Généralités sur le matériel roulant, en dehors de l'Exposition, dispositions générales des voitures ordinaires, 441 ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voitures spéciales, 418 ; wagons à marchandises, 421, conclusions, 423.

De la voie des chemins de fer à l'Exposition de 1867, par M. Jules Sambuc (planches 208, 209, 210, 211). De la voie en général, 425; des traverses et des voies métalliques, importance de la question, 429; historique des essais faits jusqu'à ce jour, 430; systèmes représentés à l'Exposition, 432 ; applications et résultats obtenus, 436 ; poids et prix des principales voies, 439 ; comparaison des prix de revient et de la durée, etc., 440.

Matériel fixe des chemins de fer, par M. J. Morandière (pl. 219). Changements et croisements de voies, 446 ; grues, appareils de transbordements, etc., 447 ; signaux, appareils, 448 ; organisation des signaux, 450.

LXX. Navigation de plaisance, par M. E. Eveillard. Préliminaires, T. VII, 232; coup d'œil sur l'Exposition, 233; exposition française, 236; anglaise 237 ; américaine 238; construction et volume d'un yacht de plaisance, 239 ; types d'embarcation de diverses nations, 240 ; chaloupes à vapeur, 248.

LXXI. Fabrication de briques et des tuiles, par M. Paul Bonneville, ingénieur des arts et manufactures (pl. 230, 231, 232, 233, 234, 235). Préliminaires. T. VII, 350 ; terres a b iques. 353 ; fabrication, méthode flamande 361 ; fabrication des briques en usines, 368 ; cuisson des briques dans des fours, 385 ; briques creuses, 394 ; briques poreuses, poteries de bâtiments, 397 ; tuyaux de drainage, 398; tuiles, 400; produits réfractaires 406.

LXXII. Machines servant à la confection des vêtements, par M. G. Bardin, ingénieur civil (pl. 217, 218). Préliminaires, T. VIII, 37 ; chapellerie de feutre, 39 ; machines employées dans la fabrication des chaussures, 57 ; machines à coudre des ateliers de couture et machines spéciales, 65.

LXXIII. Les verres et les cristaux par M. A.-F. Nogués. Historique, T. VIII, 256 ; propriétés et fabrication des verres et cristaux, 259 ; exposants étrangers, 270 ; France, 273.

LXXIV. Machines à vapeur fixes des usines et des manufactures, par M. Jules Gaudry, ingénieur au chemin de fer de l'Est (pl. 114 et 149). Les machines à vapeur dans leur généralité, T. VIII, 297 ; classement des machines fixes des usines et des manufactures, 307 ; machines élévatoires d'eau et d'épuisement, 311.

LXXV. La papeterie, par MM. Payen, membre de l'institut, et Vigreux, ingénieur civil.

Introduction : historique, progrès réalisés; une fabrique de papier, par M. E. L. T. VIII, 374.

Succédanés des chiffons et état actuel de la question des succédanés, par M. Payen, T. VIII, 459.

Appareils de la fabrication du papier, par M. Vigreux, T. VIII, 473.

LXXVI. Moulins à vent par M. J.-A. Grandvoinet. Théorie des moteurs à vent, T. VIII, origine et classification des vents, 380; de la force du vent, 383 ; utilisation de la pression du vent 388 ; détermination du travail moteur disponible, 395 ; expérience de Coulomb et de Smeaton; du vent comme moteur agricole, 402. Etude des divers moteurs à vent, 404.

LXXVII[1]. Charronnage et carrosserie, par M. Michel Rous, capitaine d'artillerie. Préliminaires, transports effectués par l'homme, T. VIII, 423 ; camions employés au transport, harnachements 428 ; histoire des voitures, voitures diverses, 440 ; étude théorique sur les divers moyens de transports, 452.

LXXVIII. La fonderie en caractères : fonte des lettres, stéréotypie, prise d'empreintes, clichés, galvanoplastie, par M. A. Jeunesse, T. VIII, 497.

LXXIX. Les cordages, par M. Eug. Parant, T. VIII, 529.

LXXX. Le caoutchouc, la gutta-percha, par M. Eug. Lacroix, T. VIII, 553.

—

Postface, par M. Eug. Lacroix, 561.

—

Description des planches de la VIIIe série, T. VIII des *Études*, 563.

—

Nomenclature des gravures du tome VIII.

—

Table analytique des matières contenues dans les huit volumes des *Études sur l'Exposition*, Annales et Archives de l'industrie au XIXe siècle, T. VIII, 565.

Table par noms d'auteurs des articles publiés dans les *Etudes sur l'Exposition*, T. VIII, 573.

[1] Indiquée par erreur sous le n° LXXVI.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE

PAR NOMS D'AUTEURS DES ARTICLES PUBLIÉS

Dans les *Études sur l'Exposition*

Baltet (Charles), horticulteur à Troyes, délégué de la viticulture à l'Exposition universelle. — Arboriculture fruitière et viticulture. T. VI, p. 245. (Pl. 51, 200, et 201.) 43 fig. dans le texte.

Bardin (G.), ingénieur civil. — Machines servant à la confection des vêtements. T. VIII. p. 37. (Pl. 217, 218.) 40 fig. dans le texte.

Basset (N.), chimiste. — La sucrerie indigène, étrangère et exotique, T. I, p. 205 ; suite, T. III, p. 154 ; suite, T. VIII, p. 101. 8 fig. dans le texte.

Belin, ingénieur, ancien élève de l'Ecole centrale. — Appareils servant à élever l'eau. Machines et appareils autres que les pompes. T. II, p. 32 ; suite, T. V, p. 47. 3 fig. dans le texte. (Pl. 138, 139, 140, 168, 183 et 184.)

Benoit-Duportail (A.-C.) et **J. Morandière**. — Chemins de fer. Voitures et wagons. T. VII, p. 158. (Pl. 191, 192, 193, 194, 195 et 196.) 18 fig. dans le texte. Suite, T. VII, p. 411.

Berlioz (J.), ingénieur-constructeur. — L'horlogerie dans toutes ses parties y compris l'horlogerie électrique, avec 8 fig. T. I, p. 64 ; suite, T. VII, p. 317. (Pl. 238, 239 et 240.) 4 fig. dans le texte.

Berthieu (G. de). — Constructions maritimes. T. II, p. 397 ; suite, T. VI, p. 223. 6 fig. dans le texte. (Pl. 110, 111, 112 et 113.)

Bonneville (Paul), ingénieur des arts et manufactures. — Fabrication des briques et des tuiles. T. VII, p. 350. 8 fig. dans le texte. (Pl. 230, 231, 232, 233, 234 et 235.)

Boucherie (Maurice). — Conserves alimentaires. T. III, p. 34.

Boudoin (Félix). — Les instruments de musique. T. I, p. 321 ; suite, T. II, p. 141. — T. III, p. 208. 17 fig. dans le texte. Suite, T. VII, p. 115. 16 fig. dans le texte.

Champion. — Chine et Japon. T. V, p. 282. (Pl. 185, 186, 187, 188, 189, 190.) 8 fig. dans le texte.

Champion, Dufour et Rous. — L'Orient. Les maisons flottantes et les maisons sur pilotis du royaume de Siam. T. V, p. 438. (Pl. 164.)

Chateau (Léon). — Le mobilier. T. I, p. 169 ; suite, T. I, p. 457 ; suite, T. III, p. 81. 2 fig. dans le texte. (Pl. 58, 59 et 79.) — Enseignement primaire et enseignement professionnel. Classes 89 et 90. T. VI, p. 62 ; suite, T. VI. p. 194.

Chauveau des Roches (A.), ancien ingénieur aux chemins de fer espagnols. — Des divers appareils servant à élever l'eau pour alimentations, irrigations et épuisements, avec 7 fig. dans le texte. T. II, p. 25.

Crisenoy (Jules de), ancien officier de marine. — Le sauvetage des naufragés. T. II, p. 149. (Pl. 47, 48, 53, 54, 55 et 27 fig. dans le texte).

Daguzan, artiste peintre. — Les beaux-arts et l'industrie à l'Exposition universelle. T. I, p. 5 ; suite, T. III, p. 339. (Pl. 65 bis, 126, 127, 128 et 129.)

Droux (Léon), ingénieur civil. — Les produits chimiques et le matériel des arts chimiques. T. VI, p. 146 ; suite, T. VIII, p. 163. 15 fig. dans le texte.

Dufour (B.-J.), député du commerce français à Constantinople. — L'Orient. T. III, p. 175.

Dufrené (H.), ingénieur civil. — Les métaux bruts. T. I, p. 455. (Pl. 19.) suite, T. IV, p. 34 ; (Pl. 101.) 3 fig. dans le texte. Suite, T. VIII, 4 fig. dans le texte. p. 19.

— Production artificielle du froid, T. II, p. 124. (Pl. 44.) 4 fig. dans le texte.

— Les monnaies. T. V, p. 171. 26 fig. dans le texte.

— Histoire du travail, T. VI. p. 370.

Éveillard, ancien officier de la marine impériale. — Appareils plongeurs, cloches, scaphandres, nautilus. T. II, p. 358. 1 fig. (Pl. 61.)

— Navigation de plaisance. T. VII, p. 232. 12 fig. dans le texte.

Forget (E. de). — Sellerie, T. I, p. 468 avec 2 fig.

Foucher de Careil (comte A.). — Les habitations ouvrières. T. I, p. 307 ; suite, T. II, p. 63. (Pl. 30, 31, 32.) Suite, T. III, p. 263. (Pl. 51, 52, 116, 117.)

Frochot (Alexis). — Sylviculture, systèmes d'aménagement et d'exploitation. — Reboisements. T. III, p. 17. 4 fig. dans le texte.

Garnault (E), ancien élève de l'École normale supérieure, professeur d'hy-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

drographie, chargé du cours de physique à l'École navale impériale. — Les instruments de précision, de physique et de navigation. T VI, p. 1. (pl. 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179.) Suite, T. VI, p. 316. (Pl. 180, 109). 11 fig. dans le texte.

Gaudry (**Jules**), ingénieur au chemin de fer de l'Est. — Machines à vapeur T. I, p. 41. (Pl. 1, 2, 3.) Suite, T. II, p. 1, (Pl. 20, 21, 22, et 7 fig. dans le texte.) Suite, (locomobiles) T. IV, p. 64 (Pl. 95, 96, 97, 98, 99). 1 fig. dans le texte. Suite. T. IV, p. 454. (Pl. 95, 96, 97, 99 et 160, 165.) 6 fig. dans le texte.

— Machines à vapeur fixes. T. VIII, p. 297. (Pl. 114 et 149), avec fig. dans le texte.

Gayot (**Eugène**), membre de la Société impériale et centrale d'agriculture de France. — Les animaux domestiques. T. I, 233 ; suite, T. I, p. 354 avec 4 fig. dans le texte ; suite, T. II, p. 58 ; (Pl. 29.) Suite, T. II, p. 268, 412. (Pl. 33, 34, 35.) Suite, T. III, p. 51. (Pl. 36, 37, 74, 75, 76.) 1 fig. dans le texte.

Gobin (**A.**), professeur de zootechnie. — Insectes utiles et nuisibles à l'Exposition universelle de 1867. T. III, p. 419 ; (10 fig. dans le texte.) Suite, T. V, p. 192. 11 fig. dans le texte.
Étude sur la gravure. T. V, p. 224.

Grandvoinnet (**J.**), professeur de génie rural. — Le génie rural. T. I, p. 82 ; suite, T. III. p. 403. (Pl. 121, 122, et 123.) Suite, T. IV, p. 88. (Pl. 131 et 132.) 29 fig. dans le texte. suite, T. V, p. 433. (Pl. 197, 198.) Suite, T. VII, p. 250. (Pl 223, 224, 225, 226, 227, 228 et 229. 1 fig. dans le texte.

— Les moulins à vent (pl. 254 et 255), T. VIII, p. 380.

Gruby, médecin. — Appareils et instruments de l'art médical. T. V, p. 24, (29 fig. dans le texte) ; suite, T. VIII, p. 277. 10 fig. dans le texte.

Guettier (**A.**). — Bronzes et fonte d'art, ouvrages d'arts en métaux. T. II, p. 211 ; suite, T. III, p. 312.

Harant (**Henri**). — Enseignement populaire. T. VI, p. 114.

Hurcourt (**d'**). — Industrie du gaz T. IV, p. 1. (Pl. 143 et 4 fig.). Suite, T. VI, p. 389.

Jaunez (**A. et L.**). — Revue des produits céramiques à l'Exposition universelle. T. III, p. 229 ; suite, T. IV, p. 407. (Pl. 126 et 127.) 2 fig. dans le texte. Suite, T. VI, p. 235.

Jeunesse (**Aug.**), secrétaire de la rédaction des *Annales du Génie civil*. — L'imprimerie et les livres. T. II, p. 326; 6 fig. suite, T. VIII, 10 gr. dans le texte, p. 130.

— La chasse et la pêche. T. V, p. 71. 1 fig. dans le texte.

— La fonderie en caractères : fonte de lettres, stéréotypie, prise d'empreintes, clichés, galvanoplastie avec 8 fig. T. VIII, p. 497.

Knab (**C.**), ingénieur chimiste. — Etude sur les goudrons et leurs nombreux dérivés. T. I, 132 ; suite, T. II, 292. avec 8 fig. dans le texte.

Kaeppelin (**D^e^.**), chimiste industriel. — Etude sur l'impression et la teinture des tissus. T. I, p. 13 ; suite, T. I, p. 154; fin, T. II, p. 90. (Pl. 4, 5, 6, 49, 50, et 4 fig. dans le texte.)

— Fabrication des papiers peints. T. I, p. 381; suite, blanchiment des tissus. T. V, p. 372. (Pl. 130, 202, 203.) 10 fig. dans le texte. — Lithographie, chromolithographie, autographie. T. VI, p. 155. 4 fig. dans le texte. — Blanchissage. T. VI, p. 415 ; 5 fig. dans le texte.

Lacour (**Alfred**), ingénieur civil, ancien élève de l'Ecole polytechnique et de l'Ecole des mines. — Matériels et procédés de l'exploitation des mines. T. V, p. 261. (Pl. 115, 120, 150.)

Lacroix (**Eugène**). — Introduction. T. I, p 1. — La construction du Champ-de-Mars. T. III, p. 199. (Pl. 18.)

— Appendice sur les appareils de la fabrication du sucre avec 8 fig. T. VIII, p. 122.

— La papeterie, introduction historique, une fabrique de papier. T. VIII, p. 374.

— Le caoutchouc et la gutta-percha. T. VIII, p. 553.

— Postface. T. VIII, p. 553.

Moncel. (**Comte Th. du**) — La télégraphie, T. I, p. 364. avec 15 fig. dans le texte. — Supplément, T. II, p. 136. — 2^e^ supplément, T. III, p. 454.

Monier (**Emile**), ingénieur civil, membre de la Société chimique de Paris. — Etude sur l'essai et l'analyse des sucres. T. I, p. 327 ; avec 4 fig.

Morandière (**J.**), ingénieur civil. — Matériel fixe des chemins de fer. T. VII, p. 446. (Pl. 219.) 6 fig. dans le texte.

Noguès (**A.-F.**), professeur des sciences physiques et naturelles, à l'Ecole centrale lyonnaise et à l'Ecole Saint-Thomas d'Aquin (Oullins). — La minéralogie et la géologie à l'Exposition de Paris, 1867. T. III, (Pl. 60.) 18 fig. p. 347 ; suite, T. IV, p. 175.

— Les verres et les cristaux ; suite, T. VIII, p. 256. 16 fig. dans le texte.

Ortolan (**André**), mécanicien en chef de la flotte. — Machines à vapeur de navigation fluviale et maritime. T. I, p. 57 ; suite, T. I, p. 113. (Pl. 8 et 22 fig. dans le texte ; suite, T. V, p. 132. (Pl. 9, 42,43, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 167.) 11 fig.

Palaà. — Engins et appareils des grands travaux publics. (Pl. 38, 39, 40, 41.) Suite, T. II, p. 370. (Pl. 144, 145, 146,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

147 et 148.) Suite, T. V, p. 3 ; 2 fig. dans le texte. T. VI, p. 423.
Parant (Eugène). — Tissus. T. I (pl. 7), p. 101 ; suite, T. I, p. 191. (Pl. 57) et 1 fig. dans le texte ; suite, T. II, p. 191 ; 1 fig. suite, T. III, p. 94. 12 fig. dans le texte. T. IV, p. 322. (Pl. 52, 181, 182.
— Les cordages, les cordes harmoniques. T. VIII, p. 529.
Paul, ingénieur civil. — Des pierres artificielles. T. VI, p. 180.
Payen, de l'Institut. Papeterie. Les succédanés du coton, p. 459.
Pieraggi (Endymion). — Les cartes et les globes. T. I, p. 110 ; suite, T. I, p. 335. T. III, p. 71.
Pourrion (A.-F.), docteur ès-sciences, sous-directeur et professeur à l'école impériale d'agriculture de Grignon. — Les appareils météorologiques enregistreurs. T. I, p. 342. (Pl. 17) et 9 fig. dans le texte. Suite, T. II, p. 312. (Pl. 65 et 7 fig.) suite, T. IV, p. 52. (Pl. 17, 65, 77, 78, 100 et 134.) 2 fig.
Plazanet (A. de), ingénieur des arts et manufactures. — Hydroplastie, électro-chimie, galvanoplastie. T. II, p. 417. (Pl. 56, 73, et 14 fig.) Suite, T. IV, p. 159. (Pl. 56, et 73.) 10 fig. Fin, T. VIII, p. 541, avec 7 fig.
Puteaux (Lucien). — Constructions civiles, habitations. T. VI, p. 131. (Pl. 11, 116, 117, 135 136, 141, 142.) 5 fig.
Raux, voir Vigreux.
Robinson (A.), professeur à l'Association polytechnique. — Bois et forêts. T. I, p. 283.
— Les corps gras alimentaires. T. I, p. 480 ; suite, T. II, p. 247, avec 3 fig. ; suite, T. III, p. 237. (Pl. 45, 66, 67, 68.)
Rouget de Lisle. — Appareils et produits agricoles. T. II, p. 344.
— Industries des vêtements, fourrures, chaussures, lingeries, bonneteries, coiffures, modes et parures. T. III, p. 284 ; 12 fig. dans le texte. Suite, T. V, p. 391.
Rous (Michel), capitaine d'artillerie. — Instruments et machines à calculer, T. II, p. 69. avec 13 fig. dans le texte.
— Art militaire, armes portatives. T. II, p. 227. (Pl. 52, 53, 54.)
— La Perse. T. IV, p. 303. 3 fig. dans le texte.
— Armes à feu portatives. T. V, p. 100. (Pl. 62, 63, 64, 69, 70, 137, et 154.) 8 fig. dans le texte. Suite, T. V, p. 307. (Pl. 102, 103, 105, 106, 107, 151, 152, 153, 155, et 156.) 1 fig. dans le texte. Suite, T. VII, p. 127. (Pl. 154.) 5 fig. dans le texte.
Sambuc (Jules), ingénieur civil. — De la voie des chemins de fer, à l'Exposition de 1867. T. VII, p. 425. (Pl. 208, 209, 210, et 211.) 1 fig. dans le texte.
Schwaeblé, ingénieur, ancien élève de l'Ecole polytechnique. — Bijouterie, joaillerie. T. I, p. 221. 3 fig. dans le texte.
— Art militaire, armes à feu. T. II, p. 236 ; suite, T. III, p. 380. (Pl. 69, 70 et 108.) 5 fig.
Soulié (Emile), ingénieur civil, ancien élève de l'Ecole des mines. — Matériels et procédés de l'exploitation des mines. T. I, p. 259. (Pl. 14, 15 et 16) Suite, T. II, p. 36. (Pl. 29 et 3 fig. dans le texte.) Suite, T. IV, p. 431. (Pl. 118, et 119.) 10 fig. dans le texte.
— Le locomoteur funiculaire, système Agudio pour la traction sur les chemins de fer à fortes rampes. T. III, p. 274. (Pl. 123, 124, 125.)
Thomas (S.-P.), ingénieur manufacturier. — Les tulles et les dentelles. T. I, p. 249 ; 4 fig. Suite et fin, T. I, p. 471.
Tronquoy (Camille), ingénieur civil. — Photographie. T. VII, p. 1. 26 fig. dans le texte.
Vigreux (L.) et Raux (A.), ingénieurs civils. — Moteurs hydrauliques. T. III, p. 126. (Pl. 80, 81, 82, 83, 84, 85.) 4 fig. dans le texte. Suite, T. VIII, p. 521. (Pl. 86, 221.)
— Machines-outils. T. IV, p. 259. (Pl. 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 104, 108.) Suite, T. VIII, p. 1. (Pl. 94, 199, 204, 205, 206 et 207.)
— La papeterie. Appareils servant à la fabrication du papier. T. VIII. (Pl. 170, 221, 222, 223, 241).
Villain (Henry). — Boulangerie et pâtisserie. T. II, p. 455. (Pl. 71 et 72.) 1 fig.
— Cuirs et peaux, tannage, corroyage, mégisserie. T. VII, p. 65.
— Boulangerie et pâtisserie. T. VII, p. 296. 4 fig. dans le texte.

P. Trenel. — Imp. Polytechnique de St-Nicolas-de-Port. — **Eug. LACROIX, Directeur.**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires