http://cnum.cnam.fr
Conservatoire numérique des Arts & Métiers

Titre général : Exposition universelle. Paris. 1867. Rapports du jury international.
Titre du volume : Tome 8. Groupe VI, classes 47 à 52.

Mots-clés : Exposition universelle (1867 ; Paris) ; Industrie ; Produits industriels

Description : [4]-616 p. ; 8°
Adresse : Paris : Imprimerie administrative de Paul Dupont, 1868.
Cote de l'exemplaire : CNAM 8° Xae 149-8 (Bibliothèque du CNAM)

URL permanente : http://cnum.cnam.fr/redir?8XAE149.8

La reproduction de tout ou partie des documents pour un usage personnel ou d'enseignement est autorisée, à condition que la mention complète de la source (*Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*) soit indiquée clairement. Toutes les utilisations à d'autres fins, notamment commerciales, sont soumises à autorisation, et/ou au règlement d'un droit de reproduction.

You may make digital or hard copies of this document for personal or classroom use, as long as the copies indicate *Conservatoire national des arts et métiers, Conservatoire numérique http://cnum.cnam.fr*. You may assemble and distribute links that point to other *CNUM* documents. Please do not republish these PDFs, or post them on other servers, or redistribute them to lists, without first getting explicit permission from *CNUM*.

PDF créé le 5/2/2008

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8° Q 06

EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867
A PARIS

8° Fac 149-8

RAPPORTS

DU

JURY INTERNATIONAL

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION DE

M. MICHEL CHEVALIER
Membre de la Commission Impériale

TOME HUITIÈME

GROUPE VI. — CLASSES 47 A 52.

BIBLIOTHÈQUE

PARIS
IMPRIMERIE ADMINISTRATIVE DE PAUL DUPONT
45, RUE DE GRENELLE-SAINT-HONORÉ, 45
1868

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

GROUPE VI

INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS DES ARTS USUELS

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 47

SOMMAIRE :

Section I. — Sondages, par M. GERNAERT, inspecteur général des mines de Belgique.

Section II. — Détails des travaux récents de sondage, par M. LAURENT-DEGOUSÉE, ingénieur-sondeur.

Section III. — Sondages du Sahara oriental de la province de Constantine, par M. DUBOCQ, ingénieur en chef des mines, membre du Jury international de 1862.

Section IV. — Captage et exploitation des eaux minérales, par M. Jules FRANÇOIS, inspecteur général des mines.

Section V. — Matériel et procédés de l'exploitation des mines, par M. CALLON, ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des mines, membre des Jurys internationaux de 1855 et de 1862.

Section VI. — Procédés métallurgiques, par M. LAN, ingénieur des mines, membre du Jury de 1867.

Section VII. — Appareils fumivores, par M. GRATEAU, ingénieur.

Section VIII. — Galvanoplastie, par M. DE JACOBI, membre de l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg.

Section IX. — Applications en grand de la galvanoplastie et de l'électro-métallurgie, par M. OUDRY, directeur de l'usine électro-métallurgique d'Auteuil.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 47

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

SECTION I

SONDAGES

PAR M. GERNAERT.

Les Expositions industrielles et internationales qui se sont succédé ont démontré les progrès et les améliorations réalisées dans les appareils de sondage, et la supériorité incontestable acquise à la France dans l'exécution de ces travaux. L'Exposition universelle de 1867 en donne un nouveau témoignage, en nous offrant les résultats des travaux de MM. Degousée et Laurent, et Dru frères, qui ont été l'objet d'une même distinction. En effet, ils ont marché parallèlement vers le même but, et ils ont eu à exécuter un nombre considérable de sondages importants et à vaincre des difficultés qui auraient paru insurmontables, il y a peu d'années.

§ 1. — Travaux de MM. Degousée et Laurent.

La maison Degousée et Laurent avait déjà acquis une répu-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tation bien justifiée, dès 1830, par les nombreux sondages qu'elle avait exécutés avec succès dans différentes contrées de l'Europe. Depuis lors, son importance n'a fait que croître, et ses travaux se sont étendus en Afrique où les puits artésiens sont appelés à rendre d'immenses services.

La ville de Paris a confié à MM. Degousée et Laurent la construction d'un puits artésien de 1m43 de diamètre établi à l'extrémité de La Chapelle à la place Hébert ; le puits a atteint aujourd'hui une profondeur de 185 mètres; il est tubé et son diamètre n'est restreint qu'à 1m35, malgré les difficultés très-grandes rencontrées dans l'exécution de ce travail.

Les mêmes ingénieurs ont été chargés en 1861, par le ministère de la marine, de l'entreprise d'un forage pour la recherche d'eaux jaillissantes à l'hôpital de la marine de Rochefort. D'après les indications données par un sondage antérieur pratiqué jusqu'à 104 mètres dans la même localité, et en se basant sur des considérations géologiques qui paraissaient positives, on espérait atteindre le résultat désiré à une profondeur de 200 mètres environ ; mais toutes les prévisions des ingénieurs les plus compétents ont été trompées, et ce n'est que le 24 février 1866, après cinq années d'un travail constant, que l'on a rencontré la première nappe d'eau à la profondeur de 816m30. La sonde a atteint une seconde nappe jaillissante à 834 mètres, et enfin le forage a été arrêté définitivement à 857m78 sous le niveau de la surface, dans des roches de grès bigarré.

Le puits, d'une profondeur tout à fait exceptionnelle, a présenté de grandes difficultés d'exécution; le tubage n'a pu être établi que jusqu'à 759 mètres.

Cette colonne a un diamètre :

De 0m310	jusqu'à	49m330
260	—	188 660
210	—	749 260

La partie inférieure à ce niveau a été terminée sans tubage de garantie, et on est parvenu, à l'aide d'outils spéciaux, à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

enlever à différentes profondeurs et notamment à 700 mètres des témoins ou échantillons cylindriques permettant de constater parfaitement la nature des terrains traversés et l'inclinaison des roches.

L'eau jaillissante du puits de Rochefort a une température de 40 à 44°, et d'après des analyses, elle contient en dissolutions des sulfates et des chlorures qui lui donnent une grande analogie avec les eaux minérales et thermales de Wiesbaden.

La quantité d'eau obtenue a été en moyenne de 2 litres par seconde; mais avec des intermittences ou des oscillations que l'on doit attribuer à la nature des terrains supérieurs dans lesquels une partie de ces eaux s'infiltre; cet inconvénient sera probablement écarté si l'on peut parvenir à introduire dans ce sondage, comme l'ont déjà proposé les constructeurs, une nouvelle colonne d'ascension construite de manière à empêcher les eaux de remonter par l'espace annulaire resté libre entre le premier tubage et les parois du forage.

MM. Degousée et Laurent ont toujours eu à leur service le concours d'ingénieurs spéciaux très-habiles dans l'art du sondeur, et nous devons signaler parmi eux MM. Ayraud, Trouillet, Mauget, Jus, Bastide, Lippmann, Gault et Ribet qui ont tous fait preuve de connaissances et d'une grande aptitude.

§ 2. — Travaux de MM. Dru frères (Saint-Just et Léon).

La maison Dru frères (Saint-Just et Léon) a également une grande renommée, justement acquise par les travaux considérables qu'elle a fait exécuter avec soin.

C'est M. Mulot père qui est le fondateur de l'association représentée aujourd'hui par MM. Dru frères. Les premiers sondages datent de 1825; cette association a su, comme son émule Degousée et Laurent, se maintenir constamment dans la voie des améliorations pour l'outillage et la construction des puits; en 1844, elle mettait en usage, pour la première fois, la sonde à chute libre dans un forage, à Calais, qu'elle conduisit à 400 mètres de profondeur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces ingénieurs ont exécuté, depuis la fondation de leur maison, au delà de 5,000 sondages dont la bonne construction et les prix très-réduits témoignent de leur grande expérience théorique et pratique.

Ils construisent en ce moment sur la Butte-aux-Cailles, pour le compte de la ville de Paris, un puits artésien de 1^m20 de diamètre. Les meilleures dispositions ont été adoptées pour l'exécution de ce grand travail, et rien ne peut faire douter du résultat favorable qui sera obtenu dans un court délai.

§ 3. — Fonçage à niveau plein des puits de mines. — Système Kind et Chaudron.

La Compagnie de Saint-Avold, dont la concession est située sur le prolongement du bassin houiller de Saarbruck, vient de terminer heureusement son siége d'exploitation dit de l'Hôpital, comprenant deux puits, l'un de 2^m50 de diamètre pour l'aérage et l'autre de 4^m10 pour l'extraction. Ces puits avaient à traverser des roches aquifères sur environ 150 mètres de hauteur là où de nombreuses tentatives, entreprises précédemment et sans succès, avaient occasionné déjà antérieurement à 1858 une dépense de plus de 21 millions. Cette Compagnie a eu recours aux ingénieurs Kind et Chaudron, et ses puits ont été foncés, par le procédé à niveau plein, en moins de trente mois et au moyen d'une dépense qui ne s'est pas élevée à 700,000 francs, en y comprenant les frais d'installation et d'outillage qui entrent dans cette somme pour un septième environ. Cette Société a exposé l'outillage qui a servi au creusement des puits de l'Hôpital : les divers trépans, dont l'un pèse 14,000 kilogrammes, plusieurs assises de cuvelage en fonte avec son faux fond, sa colonne centrale d'équilibre, sa boîte à mousse, etc., etc.

Nous avons distingué les travaux de la Compagnie de Saint-Avold, et, reconnaissant que le principal mérite du succès ob-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tenu doit être attribué aux inventeurs dn procédé de fonçage à niveau plein, le Jury a voulu qu'une récompense de l'ordre le plus élevé fût accordée, à titre de coopérateurs, aux ingénieurs Kind, de la Saxe Royale, et Chaudron, du Corps des Mines de Belgique. Le gouvernement français a, en outre, décoré celui-ci, après avoir constaté que c'est particulièrement aux perfectionnements apportés par lui, que l'on doit la réussite complète du fonçage du puits de l'Hôpital

Ces perfectionnements sont en effet d'une grande importance ; ils forment le complément indispensable sans lequel le procédé à niveau plein serait inapplicable. Plusieurs sondeurs célèbres, et notamment Kind, ont creusé des puits de grand diamètre à niveau plein; mais les plus grandes difficultés consistaient à trouver les moyens de revêtir ces puits par des cuvelages solides, les isolant de la nappe d'eau à travers laquelle ils étaient foncés, et à asseoir ces cuvelages sur la banquette inférieure de manière à empêcher les eaux de se faire jour en dessous.

Kind a d'abord imaginé de descendre un cuvelage formé de pièces de bois placées debout de 5, 6 ou 8 mètres de hauteur formant douves, et dont chaque partie était reliée en hauteur, à chaque longueur de douve, par des couronnes de métal. Plusieurs puits ont été construits d'après la même méthode, mais tous ou presque tous sans succès. A Dalbuch, en Westphalie, Kind avaient terminé un puits de cette manière; mais lorsque les eaux furent épuisées sur une certaine hauteur, la pression déplaça les douves, et ce ne fut qu'à la suite des plus grands efforts qu'on parvint à garnir l'intérieur du puits sur toute l'étendue du cuvelage de cercles de fer très-solides. Et cependant, malgré cette circonstance, la quantité d'eau qui pénètre à travers les joints verticaux est encore assez considérable pour alimenter une puissante machine d'épuisement. En tous cas, ce cuvelage en bois ne peut présenter qu'une garantie plus ou moins durable, et l'exploitation, qui a lieu par un puits établi dans de pareilles conditions, doit être

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

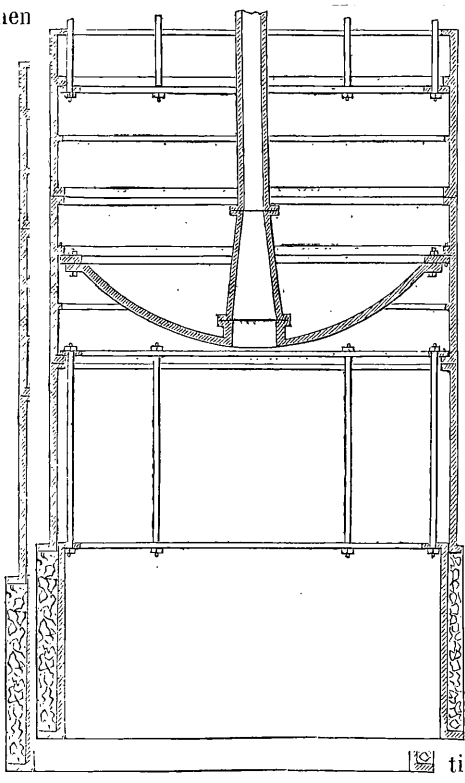
continuellement menacée d'une grande catastrophe. Après ces premiers essais, on a employé sur divers points des *tubings* en fonte formés de plusieurs sections de cylindres reliés par des boulons et présentant par conséquent des joints horizontaux et verticaux; ces derniers surtout, malgré les soins apportés dans l'exécution du travail, laissent filtrer l'eau lorsque la pression est de quelque importance.

L'ingénieur Chaudron ne recula pas devant la difficulté pour construire convenablement le puits de l'Hôpital. Il fit couler des tronçons de cylindre de 1^m50 de hauteur et de 3^m40 de diamètre, afin de laisser contre les parois du puits un vide annulaire de 0^m30 environ. Ces cylindres, parfaitement dressés sur les surfaces horizontales des joints, ont des épaisseurs proportionnelles à la pression à laquelle ils doivent résister et variant entre 0^m060 et 0^m028; ils sont soumis à des essais avant d'être mis en usage, et ils sont renforcés par des collets de 0^m080 et des nervures de 0^m040 de saillie, tendant d'une part à réunir les tronçons et d'autre part à augmenter leur résistance.

L'invention de cylindres d'une seule pièce superposés n'avait rien de bien difficile à concevoir, mais il y avait à trouver les moyens de faire descendre cette énorme colonne cylindrique de plusieurs mètres de diamètre, et de la maintenir constamment dans une position bien verticale. A cet effet, M. Chaudron a placé à l'un des premiers tronçons un fond en fonte fixé intérieurement avec des boulons. Ce fond, que l'on peut démonter lorsque tout le cuvelage est arrivé à la partie inférieure du puits, est muni au centre d'une colonne creuse de 0^m30 de diamètre sur laquelle se trouvent des robinets. Le cuvelage flotte d'abord sur l'eau dont est rempli le puits; en ouvrant l'un des robinets, on introduit de l'eau dans l'intérieur du cuvelage et on la fait descendre, aussi lentement que cela est nécessaire, pour favoriser toutes les manœuvres à la surface et notamment le placement des anneaux ou tronçons supérieurs. Mais il fallait trouver encore le moyen de rendre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la base du cuvelage tout à fait étanche en isolant le fond du puits de la partie annulaire laissée entre ses parois et le revêtement en fonte. C'était plus difficile, et heureusement l'ingénieur Chaudron y est parvenu. Il a imaginé de placer à la première assise du cuvelage une boîte à mousse d'un diamètre un peu moins grand que celui du tronçon qui lui est superposé, en maintenant cette boîte par une série de tiges. La boîte à mousse a 1m75 de hauteur et est munie de deux rebords extérieurs au cuvelage entre lesquels la mousse est maintenue. Lorsque cette boîte atteint la banquette taillée pour la recevoir au fonds du puits, tout le poids du revête-



men issait 600,000 ki-
grammes, pèse
r le lit de mousse,
comprime en le
duisant à 15 ou
) centimètres de
uteur et en forme
matelas imper-
éable qui atteint
rfaitement le but
ie l'on se propose.
Le croquis ci-
int indique la dis-
osition du fond
obile, de sa co-
nne d'équilibre et
la boîte à mous-
en faisant com-
endre le jeu de
t appareil.
Enfin, pour ache-
r cette construc-
tion et lui donner
plus de garantie de solidité et de durée, l'intervalle annulaire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

laissé entre l'extérieur du cylindre de fonte et les parois du puits est rempli de béton hydraulique que l'on descend dans ce vide au moyen de cuillères en fonte d'une capacité d'environ 2 hectolitres. Lorsqu'on suppose que le béton est suffisamment durci, on épuise les eaux du puits, on enlève le fond ainsi que la colonne d'équilibre, et si l'opération a été bien conduite, il ne doit pas passer une seule goutte d'eau en dessous du cuvelage.

Tel est le procédé Chaudron ; il présente les avantages suivants : isolement complet des terrains aquifères ; solidité très-grande des cuvelages ; réduction considérable dans la dépense ; économie de temps, amélioration sensible dans le service des ouvriers qui, précédemment, travaillaient dans les conditions les plus défavorables, et enfin garantie acquise de pouvoir traverser tous les niveaux, quelles que soient l'épaisseur et la nature des terrains.

Dès aujourd'hui, tous les puits dans les terrains aquifères seront construits avec l'assurance de réussir dans des délais déterminés et avec des dépenses très-modérées. Cette invention, appliquée avec intelligence, rendra d'immenses services à l'industrie extractive en général, et elle augmentera, dans de grandes proportions, la richesse minérale dont certaines parties étaient jusqu'à ce moment inaccessibles à la spéculation, même au prix des plus grands sacrifices.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

DÉTAILS DES TRAVAUX RÉCENTS DE SONDAGE

PAR M. CH. LAURENT-DEGOUSÉE.

§ 1. — Considérations générales.

L'Exposition de 1867 prouve comme les précédentes que l'art des sondages ne cesse pas de progresser. Il n'est plus limité comme autrefois à l'emploi de petits diamètres, et paraît, au contraire, tout disposé à ne reculer devant aucune des nécessités que peuvent lui imposer les autres branches industrielles. L'instrument, si simple et si modeste il y a seulement vingt-cinq ans, a pris des dimensions qui vont jusqu'à dépasser 4 mètres de diamètre. Rien ne fait supposer que la sonde s'arrête là. Grâce aux progrès de la métallurgie et des arts mécaniques qui viennent mettre à la disposition des sondeurs les éléments qui lui faisaient autrefois défaut, cet art a pu augmenter ses moyens d'action et renoncer à ces dimensions restreintes qui limitaient ses travaux et ses recherches. Aujourd'hui, pour des sondages très-ordinaires, l'instrument de sondage ne descend guère au-dessous du diamètre de 0^m16, n'admettant pas moins de 0^m10 pour la pose des colonnes d'ascension, lorsqu'il s'agit de recherches d'eau pour les besoins particuliers.

Les chiffres inférieurs résultent de circonstances fâcheuses et imprévues, et dénotent plus souvent l'indigence des moyens employés qu'une volonté admise en principe d'arriver à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'aussi faibles limites. Un sondeur expérimenté s'arrangera toujours de manière à maintenir des dimensions qui lui offriront des ressources suffisantes pour donner à ses outils le poids et la force convenables. C'est ainsi qu'il assure la certitude du résultat à obtenir et la facilité de réparer promptement les accidents. Ces précautions constituent à elles seules une des causes principales des succès constants obtenus par les bons sondeurs. On aurait quelque peine à trouver aujourd'hui un sondage abandonné soit par suite d'accidents réputés autrefois irréparables, soit par suite de dimensions trop réduites pour atteindre la profondeur indiquée.

On citerait, grâce à ce progrès, des sondages qui ont pu arriver à des profondeurs plus que quadruples de celles proposées en principe. C'est ainsi par exemple que le forage de l'hôpital de la marine à Rochefort, soumissionné pour une profondeur de 200 mètres avec un diamètre initial de 0^m10 à sa base, a pu être continué par suite de soumissions successives à 300, 400, 500, 600, 700, 800 et 856 mètres de profondeur, et arriver à ce point non pas au diamètre initial de 0^m10, primitivement admis, mais à celui de 0^m21 qui eût permis, s'il eût été nécessaire, de le pousser beaucoup plus profondément. Il est évident que si le sondeur, accomplissant simplement son marché, fût arrivé à chaque terme de ses traités, avec le diamètre prescrit, il eût été arrêté en chemin par les nombreux accidents qui accompagnent presque toujours ces travaux, mais que ceux survenus à 665 et 762 mètres surtout eussent été considérés comme irréparables. On eût perdu ainsi un grand travail fait et la découverte à 816^m30 et à 834 mètres de deux nappes jaillissantes analogues, pour leur composition, aux eaux minérales et thermales de Wiesbaden, en Allemagne.

Les deux sondages actuellement en cours d'exécution pour la ville de Paris dépassent les dimensions ordinaires appliquées à ces sortes de travaux, lorsqu'ils ont pour but l'obtention de nappes d'eaux jaillissantes ou non. Le puits foré à Passy par M. Kind avait déjà été pratiqué sur une échelle inusitée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ouvert à plus d'un mètre, il est arrivé dans les nappes jaillissantes déjà reconnues dans les grès verts, au puits de Grenelle, au diamètre de 0^m70. Les deux nouveaux puits s'exécutent, l'un à la Butte-aux-Cailles, au nord de Paris; il est confié à MM. Dru, successeurs de M. Mulot. L'autre au sud, à la place Hébert, à La Chapelle-Saint-Denis, est exécuté par MM. Degousée et Ch. Laurent. Pour ces deux forages, la ville de Paris se réservait de livrer aux sondeurs deux puits ordinaires de deux mètres de diamètre traversant, s'il était possible, les terrains tertiaires.

A la Butte-aux-Cailles, le grand puits ordinaire a pu être descendu jusque dans la craie et à une profondeur de 80 mètres environ. Là, il a été livré à MM. Dru, qui ont commencé leur forage au diamètre de 1^m20. A la place Hébert, les terrains tertiaires étaient d'une nature bien différente, et leur épaisseur, de 137 mètres. Un puits ordinaire a éprouvé les plus grandes difficultés pour atteindre une profondeur de 34^m40. Il restait donc encore, avant de mettre ce puits dans la position de celui de la Butte-aux-Cailles, 102 mètres à traverser. La continuation du puits ordinaire étant devenue impraticable par les moyens habituellement employés, le sondage dut commencer par ces terrains difficiles. Après une étude faite, on commença le travail au diamètre de 1^m50, le 16 décembre 1865. Le 16 décembre 1866, il avait accompli le passage de ces terrains et touchait la craie. Pour arriver à ce résultat, on avait foré de 34^m40 à 68 mètres, au diamètre de 1^m70, toute une série de calcaire et de marne; malgré la nature éboulcuse de ces terrains, on avait pu les traverser sans tubage. A cette profondeur une colonne de 1^m58 de diamètre intérieur, 1^m63 extérieur, fut descendue et poussée jusqu'à 120 mètres dans les sables et les argiles plastiques; à cette profondeur de 120 mètres, cette colonne, malgré son poids et les élargissements sous sa base, refusa de pénétrer plus loin.

Du 16 décembre 1866 au 20 juillet 1867, on fit d'abord tous les efforts imaginables pour pousser cette colonne et la faire

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

atteindre à un point peu éloigné où on espérait qu'elle coupe-rait au moins les terrains les plus éboulueux, et permettrait peut-être de tenter la continuation du travail, au diamètre de de 1m 55. Malgré tous les efforts opérés sur cette colonne, par pression ajoutée à son propre poids, qui était de près de 100,000 kilogrammes, par choc, avec un mouton de 4,000 kilogrammes ; et malgré tous ces différents moyens combinés, on fut obligé de renoncer à ce travail qui amenait une déviation du pied de la colonne et même un commencement de déformation. Après quelques essais tentés dans le but de cimenter les terrains éboulueux, on dut se résigner à la descente d'une nouvelle colonne de 1m 44 extérieur, et de 1m39 intérieur. La nécessité de descendre une seconde colonne avait été prévue dès le début des travaux ; on avait même admis la possibilité de ne pouvoir traverser ces 102 mètres de terrain éboulueux qu'avec trois tubages successifs. Les entrepreneurs, n'ayant reculé devant aucun sacrifice de temps et d'outillage, étaient parvenus à pousser la première colonne au delà des limites probables. Ce premier succès avait donné un instant l'espoir d'attaquer la craie avec le diamètre de 1m 55, au lieu de celui de 1m39, dimensions encore plus grandes, au reste, que celles qui avaient été prévues, puisque les projets et traités n'assignaient aux entrepreneurs que le diamètre de 1m20 pour arriver sur la craie.

La descente de la colonne de 1m 39 intérieur jusque sur la craie, fut terminée le 20 juillet dernier. Trois mois et dix jours après, le 1er novembre, le forage dans la craie avec le trépan à 1m 35 de diamètre était arrivé à 280 mètres.

L'exécution de ce travail démontre, plus que toutes les descriptions d'outils et de perfectionnements, la nature des progrès accomplis dans l'art du sondeur. Les difficultés vaincues au delà des prévisions de l'entreprise ; la marche relativement si régulière de ces opérations, surtout pendant les périodes employées au forage, la réparation prompte et facile des nombreux accidents survenus, indiquent suffisamment la valeur et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la sûreté des procédés, la descente régulière de la colonne dont le poids brut à soutenir s'est élevé à 100 tonnes, dénotent des engins sérieusement compris. Nous en donnerons, du reste, un peu plus loin une description rapide; elle est nécessaire pour faire bien comprendre la différence qui existe entre les tubages de puits artésiens et la descente du cuvelage d'une fosse d'extraction.

Les moyens à employer pour pratiquer des sondages ont préoccupé bien souvent et très-vivement les intelligences. Les procédés employés dans la pratique ont paru toujours susceptibles de grands et radicaux perfectionnements. Il a fallu de nombreux déboires pour amener bien des inventeurs à la conviction que si des procédés, que, à l'examen superficiel, on doit reconnaître longs et coûteux, se maintiennent en usage, c'est que la pratique se refuse à des applications regardées comme plus promptes, plus rationnelles et certainement marquées au coin de l'intelligence, pour des raisons qui ont bien aussi leur valeur.

Ainsi, depuis tantôt trente ou quarante ans, le sondage à la corde ou système chinois a été préconisé. Si simple en apparence, expérimenté si souvent et avec tant d'ardeur, perfectionné de tant de manières, pourquoi jusqu'ici n'a-t-il rien produit? C'est que, à l'application, il est limité à certains terrains rares à rencontrer dans l'échelle un peu longue et variable que la sonde est appelée à traverser.

L'Exposition de 1867 ne présente aucun système à corde. Est-ce lassitude des partisans de ce procédé? Est-ce conviction établie que malgré ses séductions, il est reconnu impraticable? Nous n'oserions nous prononcer. Les systèmes à pompe foulante font également défaut. Ceux-ci ont eu cependant de beaux succès, mais aussi de bien graves échecs. Nous ne faisons aucune difficulté de reconnaître que ces deux systèmes à titre d'auxiliaires peuvent présenter quelquefois d'incontestables avantages; mais, dans l'état actuel, on ne doit compter sur eux que dans des limites données. Leur addition au ma-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tériel ordinaire d'un sondage n'est donc le plus souvent qu'un surcroît à des engins lourds et plus puissants, mais aussi coûteux. On doit encore faire observer que le premier et surtout le second de ces systèmes deviennent inapplicables, ou à peu près, avec les grands diamètres aujourd'hui en faveur, et les profondeurs qu'on abordait pen autrefois.

§ 2. — Perfectionnements obtenus de 1862 à 1867, d'après les brevets.

Avant de passer en revue les différents systèmes de sondage qui se présentent au concours industriel de 1867, et pour nous rendre compte des progrès ou des améliorations tentées ou obtenues depuis la dernière Exposition, nous avons consulté les brevets, pris depuis 1861 inclusivement.

En 1861, MM. Guérin et Simyan prennent un brevet. Le seul point nouveau consiste à avoir un système de tiges articulées, presqu'à la manière des mètres ployants, avec douilles ou manchons aux articulations, pour assurer dans le forage la rigidité des éléments successifs. Lors de l'extraction des tiges du trou de sonde, un taquet fait glisser les manchons mobiles et permet l'application des éléments sur un rouleau hexagone dont chaque face a nécessairement la dimension d'une des articulations. Des bœufs tirent sur un plan horizontal l'ensemble des sondes jusqu'à l'arrivée au jour de l'outil foreur. Depuis 1861, nous pensons que l'auteur a pu se rendre compte des difficultés pratiques de cette disposition. Son intention était aussi d'affranchir les sondages de l'inconvénient si grave et si coûteux des colonnes de retenue, dont la multiplication dans certains terrains amène forcément la diminution des diamètres. Il pensait y arriver au moyen d'un liquide, dont il donne la recette et qui devait silicatiser les parois, meubles et éboulants, rencontrés par la sonde. Le succès ne devait pas même être compromis par la présence d'eau jaillissante. Jusqu'ici, à notre connaissance, aucun exemple ne vient démontrer, par un fait acquis, la valeur ou l'efficacité du procédé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En 1862, M. Dru prend son brevet pour la chute libre à réaction par choc ; nous le retrouverons plus loin parmi les objets exposés.

En 1863, M. Zambeaux se fait breveter pour un système de sondage à corde plate ou ronde. Son trépan est circulaire ou tubulaire. Dans ce système, deux déclics sont appliqués, l'un, sur ou plutôt dans le trépan, l'autre, à la surface du sol sur le treuil moteur. Nous savons qu'un sondage a été tenté avec cette disposition, mais nous ignorons ses résultats ; en tout cas, ils ne paraissent pas avoir été tels que l'auteur ait beaucoup répandu ses applications. Nous croyons que, avec son intelligence incontestable, M. Zambeaux eût fait meilleure route s'il avait eu à son service un peu plus de pratique du métier.

La même année, M. d'Iochet, directeur de sondage, prend un brevet pour une nouvelle disposition de trépan. Il lui donne une forme circulaire, avec des lames rapportées, et il introduit dans l'intérieur une soupape à piston. Le but serait, pendant l'action du trépan, d'opérer l'enlèvement des détritus, au fur et à mesure que, par leur agglomération, ils viennent retarder son avancement dans le terrain. Cette idée, très-bonne si on pouvait arriver à la réaliser sans rencontrer une complication fâcheuse, avait déjà été l'objet de quelques essais.

L'Exposition de 1849 montrait une tentative de ce genre ; une soupape accompagnait un trépan circulaire à lames rapportées et devait également atteindre le but que se propose M. d'Iochet. On obtenait de cette réunion de deux bons outils un troisième instrument très-médiocre dans la pratique, et il n'est conservé que comme servant de réponse à une question trop fréquente. Il est vrai que la soupape n'était pas à pompe ; ce n'est qu'en 1855, sous l'inspiration de M. Lechatellier, ingénieur en chef des mines, qu'une première application de piston dans une soupape de sondage aurait eu lieu.

Cette même année 1863 a été très-fertile en brevets sur les sondages, car nous en trouvons encore trois : L'un de M. Ca-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

telineau, pour une installation à vapeur à traction directe, à percussion, à sonde équilibrée et à échappement, libre du trépan, toutes conditions déjà plus ou moins bien remplies par les sondeurs. Pour opérer sa traction directe il place son cylindre à vapeur au haut de sa chèvre. Dans les considérants de son brevet, M. Catelineau paraît vouloir se réserver exclusivement l'emploi de chaudières tubulaires, d'un déclic, de l'injecteur Giffard, etc. Si l'on cédait aux prétentions exprimées dans les brevets, il deviendrait impossible de faire un pas en industrie à moins de passer son temps à vérifier la valeur des interdictions qu'ils contiennent. Ainsi, en 1863, on doit renoncer à l'emploi de la chaudière tubulaire appliquée au sondage de Donchery (Ardennes) en 1844; aux différents déclics employés précédemment; il est même défendu de substituer un injecteur Giffard à ses pompes alimentaires, etc., etc.

M. Wells prend un brevet pour un instrument assez semblable aux pieux à hélices pour pilotis. Sous l'hélice il établit un encliquetage qui paraît constituer la grande importance de l'invention; il s'en réserve aussi la propriété exclusive. Au reste, nous n'avons pu en pénétrer ni le jeu, ni l'utilité.

Enfin, cette nomenclature des brevets de 1863 se termine par un perforateur combiné, destiné au percement de souterrains, canaux, chemins de fer, puits artésiens, etc., quelle que soit la nature du terrain. L'auteur, M. Gay, ajoute quelques additions à son brevet principal. Il démontre que, vu l'insuffisance de l'acier comme dureté, on doit remplacer les taillants des outils perforeurs par le silex, l'agate et autres pierres dures; ces dernières doivent évidemment comprendre l'émeri et le diamant.

En 1864, on trouve un brevet de M. Charles pour chute libre dite glissière tubulaire. C'est l'outil que nous présentent à l'Exposition MM. Villepigue et Purtschet et d'autres, moins la circonstance des formes cylindriques.

Un autre, de M. Doley, concerne un système à chute libre qui a la plus grande analogie avec le déclic de M. Kind;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seulement, pour obtenir l'ouverture des crochets qui tiennent le trépan, au lieu de faire intervenir la réaction de l'eau sous un disque ou même le choc sous un heurtoir, il emploie un fil de fer qui arrive au jour. Il suffit, paraît-il, de tirer ce fil de fer pour obtenir la chute désirée.

En 1865, les inventeurs paraissent se reposer un peu: l'article sondage ne présente qu'un appareil électrique, s'appliquant aux sondages en mer, par conséquent hors du cadre du sujet qui nous occupe.

Mais, en 1866, il y a une addition au brevet de M. Doley pour l'application du marteau-pilon aux manœuvres de son système. Ceci résume le bilan des efforts des inventeurs en matière de sondage. Quelques-unes de ces idées viennent prendre rang dans les différents produits de la classe 47, auprès d'une série assez considérable d'instruments destinés aux mêmes usages, lesquels, quoique non brevetés, paraissent néanmoins avoir pour eux la sanction de l'usage ou démontrer au moins matériellement leurs moyens d'action.

§ 3. — Systèmes exposés en 1867.

Aujourd'hui donc, l'Exposition ne présente, en dehors de la sonde ordinaire, que des méthodes qui, employant la sonde rigide, soit en fer, soit en bois, cherchent à obtenir la chute libre de l'outil en rendant le corps de sonde indépendant de cette chute.

On peut diviser en cinq les différents systèmes qui sont présentés cette année : 1° Coulisse à glissement d'Œynhausen; 2° Coulisse produisant la chute libre par rotation brusque amenant le déclanchement d'un système d'embrayage. Presque tous les sondeurs ont pratiqué ce moyen. Il y a un grand nombre d'inventeurs brevetés ou non brevetés; 3° Coulisse à chute libre opérée par la réaction de l'eau sur un disque piston, système Kind; 4° Coulisse à chute libre opérée par l'inertie d'une tige additionnelle reposant sur le fond, et faisant ouvrir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les crochets, système Degousée et Ch. Laurent; 5° Coulisse à chute libre opérée par la réaction produite au moyen d'un choc sur la vitesse acquise d'une sonde, système Dru.

La coulisse d'OEynhausen avait déjà résolu une partie du problème et rendu de grands services à presque tous les sondeurs qui l'avaient adoptée. Elle a été négligée lorsque de nouveaux procédés ont pu la remplacer. Elle ne donne pas en effet la chute complétement libre de l'outil, celui-ci étant toujours lié à la sonde qu'il doit entraîner dans sa vitesse. Ce n'est que lorsque le trépan a frappé le fond qu'elle fonctionne pour empêcher la partie supérieure des sondes de participer aux chocs et vibrations de la percussion de l'outil. Ce n'est pas sans étonnement que nous avons vu cette coulisse surmonter les grands outils de MM. Kind et Chaudron au beau travail qu'ils ont exécuté dans la Moselle, à l'exclusion de coulisses à chute libre.

Le système n° 2 consiste en une coulisse semblable à celle d'OEynhausen, mais au bas de laquelle on a ménagé un moyen quelconque d'embrayage permettant de prendre et de soulever le trépan, puis, lorsqu'il est soulevé à la hauteur voulue, de le faire échapper. Cet échappement s'obtient par un brusque mouvement de torsion imprimé à la sonde; le trépan, n'ayant pas le temps de suivre ce mouvement glisse sur les surfaces qui le retiennent et tombe. On va le reprendre en l'embrayant de nouveau et on le soulève pour opérer une nouvelle chute. Ce système a été un des premiers imaginés; on citerait au besoin vingt contre-maîtres de sondages qui s'en croient les inventeurs. Un ingénieur attaché aux chemins de fer autrichiens a accompli, il y a déjà huit ou dix ans, des travaux assez importants avec ce système. Le marquis della Rosa, en Italie, a fait construire une coulisse sur ce même principe; seulement la partie mâle de l'embrayage, c'est-à-dire le T qui pénètre dans les encoches au lieu d'appartenir à la sonde, forme au contraire la tête du trépan. Il attache une grande importance à cette modification.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Villepigue présente un appareil de ce système, pour lequel M. Charles a pris un brevet. Le corps de sa coulisse est rond au lieu d'être formé de pièces rectangulaires; là nous a paru être la seule modification. M. Mulot avait une coulisse sur le même principe; elle est depuis dix ans dans la collection du Conservatoire des arts et métiers de Paris et on la retrouve dans l'exposition de MM. Dru. Nous avons essayé ce système et nous croyons que dans certains cas il peut rendre de vrais services, surtout lorsque les trépans n'atteignent que des poids peu considérables. Nous avons ajouté un moyen d'embrayage à ressort pour éviter les chutes qui peuvent se produire dans le vide lorsque le trépan, au moment de la descente, rencontre un obstacle qui l'arrête momentanément. Il resterait encore à essayer au moyen de palettes hélicoïdales d'opérer automatiquement le déclanchement. On peut facilement y arriver, mais avec remous de l'eau sur les parois, inconvénient souvent assez grave et qu'il nous semble bon d'éviter.

M. Kind emploie toujours dans ses sondages ordinaires l'ingénieux appareil qui porte son nom. Dans un trou régulier ou tubé, rien ne s'oppose aux bons effets que l'on doit en attendre. S'il doit agir dans un trou irrégulier, c'est-à-dire dont les parois déliquescentes s'éboulent, il perd une partie de ses avantages. Le disque piston ne fonctionnant plus dans un cylindre, on comprend qu'il ne peut plus agir avec assez d'énergie pour la manœuvre des pinces ou crochets. C'est alors qu'à l'aide de la réaction de l'eau, nous voyons appeler le choc sous un heurtoir, et c'est ce choc qui détermine la chute de l'outil percuteur en produisant un arrêt dans la vitesse acquise de la sonde. Dans cet outil, le disque agit donc pour prendre le trépan et le retenir à sa montée, mais ce n'est que dans des cas particuliers d'un trou régulier qu'il possède l'énergie nécessaire pour faire ouvrir les crochets à la descente. On comprend que, avec des trépans qui varient de $1^{m}37$ de diamètre à $4^{m}10$, et dont le poids s'élève de 2,000 à 8,000 kilogrammes,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ce système ne puisse être appliqué et que MM. Kind et Chaudron aient dû y renoncer pour recourir à la simple coulisse d'OEynhausen.

C'est l'inconvénient que nous signalons qui a permis à MM. d'Iochet et Dehuster d'employer, malgré le brevet de M. Kind, des coulisses qui avaient les plus grands rapports avec la sienne.

M. Saint-Just Dru ayant probablement observé ce qui se passe dans la coulisse de M. Kind, a mis à profit, comme l'a fait également M. Saury, l'effet du choc venant interrompre la vitesse ascensionnelle imprimée à une sonde. Dans la coulisse de M. Dru les crochets ou pinces viennent à leur extrémité supérieure rencontrer un plan incliné, sur lequel ils glissent en s'écartant. Cette rencontre de l'extrémité des crochets ou pinces et des plans inclinés, est produite par un choc du balancier de battage contre un point fixe.

M. Saury, l'un des directeurs ou ancien directeur de sondages de M. Kind, emploie avec succès, depuis longtemps, une coulisse qui opère la chute libre ; cet outil figure à l'exposition du ministère de la guerre près de l'appareil complet de MM. Degousée et Ch. Laurent pour les sondages du Sahara de la province de Constantine. Il se compose de deux tiges qui font coulisse en glissant l'une sur l'autre ; une de ces tiges fait partie du trépan, l'autre de la sonde. Sur la tige du trépan se trouve une encoche destinée à loger un étrier mobile et relié par un boulon sur la tige de sonde. Cet étrier embrasse la tige du trépan et glisse dessus. Dans ce glissement, il rencontre l'encoche dans laquelle il se loge assez solidement pour que le trépan puisse être soulevé lorsque la sonde monte. Si on interrompt brusquement le mouvement ascensionnel par un choc, l'étrier saute de l'encoche et le trépan tombe. Cet instrument a été décrit par M. Ville, ingénieur en chef des mines à Alger (*Annales des Mines* en 1864), et employé en 1861 au sondage de Mustapha inférieur (province d'Alger).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ce même ingénieur décrit aussi dans le neuvième volume des *Annales des Mines* en 1866, page 357, un instrument inventé par MM. Purtsche fils, maître sondeur attaché au service des mines à Alger. Cet instrument est exactement celui de M. Vellepigue ou de M. Charles, lequel, comme nous l'avons dit, a eu lui-même de nombreux prédécesseurs. On signale cependant dans la manœuvre une addition : c'est le choc au mouvement de rotation afin de faciliter le déclanchement.

MM. Degousée et Ch. Laurent emploient depuis plus de quinze ans une coulisse avec tige additionnelle ou poids mort. Ce système, qu'ils appliquent aussi facilement aux sondages de petits diamètres qu'aux grands, est celui qui fonctionne depuis l'ouverture des travaux au sondage de la ville de Paris, place Hébert. On comprend que dans une période aussi longue, l'usage ait amené de nombreuses modifications ; cinq ou six figurent à l'Exposition ; mais le principe reste toujours le même, une tige additionnelle reposant sur le fond du trou par son propre poids, porte à son extrémité supérieure une bague ou anneau forçant les crochets qui retiennent le trépan à s'ouvrir et à l'abandonner en chute libre.

Dans les sondages ordinaires, la tige poids mort est simple ; au sondage de la place Hébert, elle est double ; les crochets sont également simples ou doubles. L'avantage que présente ce système, c'est l'infaillibilité presque complète de son action dans de petits comme dans de grands forages, l'absence de choc et par conséquent de vibration dans les sondes et de bruit à la surface, remous d'eau insensible sur les parois du forage.

Jusqu'ici et quoique sans brevet, ce système n'avait été copié ou modifié par aucun sondeur. Nous n'avons pas encore connaissance de son application matérielle sur des travaux exécutés par d'autres collègues. MM. Saint-Just et Léon Dru présentent à l'Exposition deux coulisses avec tige additionnelle ou poids mort, qu'ils appellent avant-garde. Elles ont un seul crochet ou deux, selon les circonstances. Le décro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chage a lieu soit à la montée, soit à la descente de l'outil. C'est surtout sur cette dernière modification que M. Dru se base pour donner ce système comme étant le sien. Nous ne lui contesterons pas cette prétention et nous attendrons qu'une application sérieuse vienne démontrer son importante supériorité. La tige additionnelle ou poids mort, ou avant-garde, avec un seul ou avec deux crochets, s'ouvrant à la montée ou à la descente, va se substituer, au sondage de la Butte-aux-Cailles, à l'outil à réaction par le choc, qui dès lors deviendrait, aux yeux de son inventeur, impropre aux forages de grands diamètres. L'horizontalité des plans d'accrochage et l'extrême mobilité des axes des crochets seraient des perfectionnements insuffisants malgré leur importance aux yeux de l'auteur; importance qu'il signale sur presque tous les autres modes d'opérer la chute libre. Le brevet de M. Dru est pour quinze années qui partent du 15 mars 1862.

Au sondage de la Butte-aux-Cailles, le trépan est construit à lame pleine occupant un diamètre du trou de sonde. Des lames rapportées sont solidement encastrées dans leurs alvéoles et retenues par de longs et forts boulons ; c'est à peu près la disposition du trépan de M. Kind, sauf le moyen de réunion au fût qui paraît plus solide. Il pèse environ 2,500 kilogrammes pour son diamètre de $1^{m}20$. L'entrepreneur de ce sondage préconise l'exécution en deux opérations ; dans l'une on fait un trou de 20 à 30 mètres de profondeur sur l'axe, puis avec un trépan plus grand on achève de donner au puits le diamètre voulu. C'est aussi la méthode de M. Kind.

Voici les raisons que donne M. Dru en adoptant le forage en plusieurs fois : « Ceci, on le fait pour travailler plus faci-
« lement; car si l'on entamait la craie sur la surface du puits
« à la fois, on serait obligé d'en broyer tous les silex, tandis
« qu'en mettant une benne dans l'avant-trou, lorsqu'on se sert
« du plus grand trépan on y reçoit des silex entiers qui se
« détachent sous le choc de l'outil. »

M. Kind emploie depuis bien longtemps ce procédé, mais

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exclusivement, nous le croyons, pour des diamètres de 3 à 4 mètres. Ainsi, au puits de la Moselle, l'avant-trou pratiqué par le premier trépan, a un diamètre de 1^m37. On semble l'avoir exécuté sans avoir eu besoin de recourir à un avant-trou plus petit. Au reste, nous croyons qu'au forage de la Butte-aux-Cailles, ce procédé a été abandonné.

Au sondage de la place Hébert, on emploie un trépan circulaire pesant 4,800 kilogrammes. On trouve qu'il a l'avantage de permettre par sa construction des changements de dimensions faciles; ainsi, il a successivement passé par les diamètres de 1^m70, 1^m58 et 1^m35. Sa forme circulaire assure la régularité du trou, sa position toujours verticale en cas d'accident, et dès lors, quelque facilité pour le retrait, sa tête ne pouvant jamais aller se loger dans les parois. Il attaque le fond en plein au moyen d'une lame transversale qui réunit deux des branches. Dans le cas où on voudrait découper un échantillon du terrain en colonne, il suffit de supprimer la lame transversale et de lui substituer deux des lames ordinaires.

La présence du silex dans la craie ne nous paraît présenter que fort peu d'inconvénients. Cette roche, quoique dure, ne possède pas dans le sol la ténacité remarquable qu'elle montre après son extraction et sa mise au contact de l'air. Dans le sol, elle contient son eau de cristallisation et est très-fragile sous le choc. Nous ne croyons donc pas que sa présence soit assez grave pour nécessiter, surtout dans des diamètres de moins de 1^m50, l'emploi du forage en deux opérations.

La soupape avec un trépan circulaire doit être modifiée pour remplir le double but de l'instrument foreur; c'est-à-dire vider, d'une part, l'espace annulaire, si on opère seulement sur une couronne laissant intacte la partie concentrale. C'est alors qu'on la voit, comme à l'Exposition, se composer de douze soupapes indépendantes, montées circulairement de manière à pénétrer dans l'espace annulaire creusé par le trépan. Lors-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que le trépan, par l'addition de la lame transversale, a travaillé en plein, la soupape circulaire reçoit à son centre une autre grosse soupape qui enlève les boues sur toute la surface. Tous les clapets sont hémisphériques et dans la soupape complète ils sont au nombre de dix-neuf, douze pour le jeu des petites et sept pour la soupape centrale. L'avantage de multiplier les soupapes est d'éviter ces voyages infructueux qu'un obstacle introduit sous un ou deux clapets peut produire. Cet inconvénient dans une soupape multiple n'est que partiel.

Enfin, dans la traversée des énormes couches sableuses et fluides, rencontrées au sondage de la place Hébert, on s'est servi, avec grand avantage, de la soupape à pompe.

Une question importante dans les sondages à grands diamètres est celle des tubages. Dans les deux puits en exécution, à Paris, pour le compte de la ville, celui de la place Hébert est le seul qui ait eu, jusqu'à présent, à descendre des tubes d'une certaine importance, c'est-à-dire dont le poids à soutenir s'est élevé jusqu'à 100,000 kilogrammes. Lorsque les tubes pour les recherches d'eau n'ont qu'à résister à la poussée des terrains, déduction faite de la pression intérieure exercée par l'eau qui remplit le tube, on peut admettre que leur épaisseur puisse être relativement assez faible. Voici comment ont été construits les tubes ; un tronçon figurait à l'Exposition. Ils se composaient de feuilles de tôle superposées et dont tous les joints se croisaient, chaque feuille ayant une épaisseur de $0^{m}01$; l'épaisseur totale du tube était de $0^{m}02$. Comme cette construction ne donne de saillie ni à l'intérieur ni à l'extérieur, on comprend son avantage pour glisser dans les terrains, mais aussi la nécessité pour avoir des points d'attache et de retenue, de fixer pour les manœuvres un certain nombre de plaques mobiles sur le pourtour intérieur et extérieur. Un modèle au dixième montrait la disposition de ces plaques de retenue.

Pour la suspension de ces tubes, dans le forage, un fort tampon en bois de chêne est introduit à l'intérieur; il forme

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

piston et ne peut sortir parce qu'il est fixé par les plaques de retenue intérieures. Ce tampon est garni d'un joint en caoutchouc qui ferme hermétiquement le haut du tube et le transforme en une cloche sous laquelle l'air compris entre le niveau de l'eau et le dessous de ce tampon se comprime; on obtient ainsi un allégement du poids.

Lorsque par l'addition successive des tronçons descendus et rivés les uns aux autres, le poids du tube arrive à 30 ou 35,000 kilogrammes, une série de vis, deux, puis quatre, fixées au tampon, viennent tenir le tube suspendu dans le forage au moyen de leurs écrous qui reposent sur un solide pont roulant placé au-dessus du tube. Chaque écrou des vis porte une roue dentée qui engrène avec une vis sans fin, montée sur un axe à manivelle; les hommes, un seul à chaque vis, détournent les écrous pour laisser glisser et descendre ce système de vis et, par suite, le tube. Celui-ci, comme nous l'avons vu, est allégé d'une part par l'air comprimé qu'il renferme, et d'autre part, par le frottement énergique des freins. Ainsi équipés, deux hommes et deux vis suffisent pour manœuvrer 30,000 kilogrammes; au-dessus de ce poids, quatre hommes sont appliqués aux quatre vis, ils manœuvrent facilement avec une vitesse régulière de $1^{m}30$ à $1^{m}40$ par heure, si bien que chaque bout du tube qui a 4 mètres de longueur, se rive et se descend chaque jour. Il faut, par chaque jonction, 240 rivets de 2 centimètres mis à chaud. La descente de la colonne qui garnit le forage de la place Hébert jusqu'à 140 mètres s'est effectuée en un mois.

Les colonnes définitives qui iront jusqu'à 600 mètres et peut-être au delà, auront des poids bien plus considérables et nécessiteront probablement l'application de nouveaux moyens.

Dans les puits de mines, avec l'ingénieux système de M. Chaudron, le cuvelage présentant une solidité exceptionnelle, peut être bouché par le bas, il flotte alors comme un bateau et on introduit de l'eau à l'intérieur en quantité suffisante pour obtenir sa descente dans le forage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tels sont à l'Exposition les points les plus saillants de l'art des forages autant qu'on peut en juger par les produits exposés et les descriptions données des deux forages de la Butte-aux-Cailles et de la place Hébert.

Pour les autres travaux hors ligne, MM. Dru présentent un forage entrepris depuis plusieurs années, chez M. Say, raffineur à Paris, et MM. Degousée et Ch. Laurent, leur sondage terminé de Rochefort; le premier a dépassé 400 mètres et le second 856 mètres.

Les procédés de sondage ont toujours besoin de la sanction de la pratique; rien ne nous paraît plus téméraire, plus présomptueux que l'annonce même bien faite et très-élégante d'un système non éprouvé, surtout, si l'on néglige d'annoncer cette circonstance. Cette manière d'agir offre d'ailleurs l'éminent danger d'éveiller la critique et de la dispenser de toute bienveillance, si les épreuves ne répondent pas aux succès si pompeusement annoncés. On frise peut-être malgré soi le charlatanisme; cela nous rappelle le mot d'un vieil et habile praticien qui prétendait que, si on arrivait à faire des sondages avec la langue, on ne manquerait pas de bons sondeurs. On doit donc demander à un sondeur, non-seulement ses projets, mais surtout comment il a accompli ce dont on l'a chargé: l'exécution de ses travaux avec celle de ses confrères, en y faisant entrer tous les éléments de la comparaison. C'est cet ensemble qui fournit la véritable pierre de touche de son mérite personnel, de son outillage et de son intelligence à s'en servir. Nous avons vu des outils bien médiocres dans des mains habiles donner des résultats que l'on n'obtenait pas par d'autres avec des instruments irréprochables. En résumé, l'exécution des forages peut s'assimiler à tous les autres modes de fabrication; quel que soit la machine ou le matériel, son brillant, sa complication, le principal, est le produit fabriqué et visible.

Les grands travaux de la ville de Paris, exécutés sous la haute direction de M. Belgrand, inspecteur général des ponts et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaussées, peuvent fournir les éléments les plus précieux d'appréciation des différents systèmes présentés à l'Exposition et qui ne pouvaient y figurer qu'à une échelle extrêmement réduite.

Depuis la dernière Exposition, nous avons perdu dans l'art du sondeur, un bon et vénérable guide, J. Degousée; son esprit large, juste et entreprenant, eût aidé aux progrès d'un art qu'il avait pratiqué avec tant de succès pendant trente-cinq ans; son expérience et ses encouragements nous ont souvent fait défaut.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III

SONDAGES DU SAHARA ORIENTAL DE LA PROVINCE DE CONSTANTINE

PAR M. DUBOCQ.

On remarque, dans l'exposition Algérienne, à côté des beaux échantillons de liége et de minerai de fer que le littoral de la province de Constantine fournit aujourd'hui en abondance à l'industrie européenne, un modèle au dixième de l'exécution d'un équipage de sonde complet, muni de tous ses accessoires, qui est exposé par le Gouvernement militaire de cette province. C'est une reproduction du matériel de forage qui fonctionne depuis une dizaine d'années dans le sud de la province de Constantine, et qui a permis d'y obtenir de si remarquables résultats ; des échantillons de terrains traversés, des coupes de sondages, présentées par M. Jus, directeur des forages du Hodna, viennent compléter cette intéressante exposition.

L'importance de ces conquêtes pacifiques, obtenues par la substitution des procédés perfectionnés de notre industrie aux méthodes que les indigènes employaient, depuis un temps immémorial, pour se procurer l'eau nécessaire à leur existence et à leurs cultures, est considérable, aussi bien par les résultats déjà obtenus que par ceux que promet l'avenir.

Il ne sera donc pas sans intérêt d'exposer avec quelque détail les conditions dans lesquelles ces sondages ont été exécutés et de faire connaître les contrées auxquelles ils assurent une ère nouvelle de prospérité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 1. — Description de la région saharienne de la province de Constantine.

La région saharienne de la province de Constantine, nettement délimitée au nord par le massif montagneux des Aurès, présente, dans tout l'espace que le regard embrasse, lorsque l'on franchit les derniers contre-forts qui dominent Biskra, l'aspect du fond uni d'une mer, dont les eaux auraient disparu s'étendant sans bornes jusqu'à l'horizon.

L'uniformité de la teinte jaunâtre du terrain n'est interrompue que par quelques points noirs distribués inégalement dans cette vaste étendue; ce sont les oasis qui conduisaient Ptolémée à comparer, avec un grand bonheur d'expression, le désert à une peau de panthère.

Cette impression uniforme ne tarde pas toutefois à s'effacer lorsque l'on pénètre dans la plaine saharienne. On y constate des alternances de hauteur et de dépression qui viennent fréquemment borner un horizon que l'on croyait sans limites, des dunes de sable, de vastes marécages, qui conduisent à reconnaître dans cette région, suivant la distinction adoptée par M. Ch. Martins, trois formes principales: le désert des plateaux, le désert de sable et le désert d'érosion.

Le désert des plateaux, ou le steppe saharien, n'est autre que la surface unie que l'on aperçoit des hauteurs qui dominent Biskra. On y rencontre des couches d'argile, de sable et de gypse, sensiblement horizontales, dans lesquelles la couche supérieure, formée de gypse cohérent, simule un dallage régulier et sonore. Cette couche revêt habituellement les plateaux qui n'ont pas été entamés par les eaux, et s'étend sur de vastes espaces où elle est recouverte, de distance en distance, par des amas de cailloux et de sables. Ce steppe constitue la majeure partie des Ziban et le vaste plateau qui, s'étendant depuis l'Oued-Djedi jusqu'au pays des Beni-Mzab, dessine vers l'ouest la limite des terrains que doit embrasser ce travail.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sur d'autres points, la surface du sol est formée par un grès friable, d'une facile désagrégation, et qui, sous l'action des vents et de la sécheresse, a produit des dunes de sable sans cesse remaniées par les vents : c'est le désert de sable.

Deux vents dominants, celui du nord-ouest et celui du sud, contrarient leurs effets et empêchent les dunes de se déplacer tout en entraînant le sable de leur surface; les dépressions existantes se maintiennent ainsi et nous présentent, dans des couches plus argileuses, des gypses cristallisés sous toutes les formes. Tout le district du Souf, qui limite vers le sud-est le Sahara algérien, appartient au désert de sable.

De grands courants provenant de la chaîne des Aurès vers le nord, du massif du Djebel-Amour à l'ouest, et des régions occupées par les Touaregs vers le sud, ont entamé et corrodé les plateaux, en y traçant de larges sillons pour aboutir à une vaste dépression centrale par laquelle toutes les matières enlevées aux plateaux ont été déjetées dans la mer Méditerranée, au fond du golfe de Gabès, ou Petite Syrte des anciens.

Les terrains ainsi dénudés forment le désert d'érosion : ce sont en général des dépressions très-ouvertes, séparées par de faibles contre-forts, dont le fond est occupé par un torrent, à sec pendant presque toute l'année, et qui en hiver déverse ses eaux dans de vastes lagunes. Chargées de sels dans leur parcours, ces eaux les laissent déposer sous l'action d'un soleil ardent, à la surface des marais où elles se réunissent, et constituent ainsi une série de lacs salés ou Chott, dont le principal, le Chott Melrir, occupe le fond du désert d'érosion. L'Ouad-Rir et les terrains compris entre Tougourt et Ouaregla, qui occupent toute la région médiane entre le steppe des plateaux et le désert de sable du Souf, nous présentent le type de cette forme de désert.

La lagune à laquelle aboutissent les eaux de toute cette région se continue sur près de quatre degrés de longitude, avec des alternatives de relèvements et de bas-fonds, jusqu'aux environs du golfe de Gabès, mais ne paraît point en communica-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion avec la Méditerranée ; les Chott sont en effet à un niveau inférieur et forment ainsi une dépression analogue à celle des Lacs Amers et de la grande oasis de Syouah, en Égypte; les parties les plus basses de l'Ouad-Rir sont elles-mêmes à peine au-dessus du niveau de la mer, alors que le steppe présente dans les Ziban des altitudes de 125 et 200 mètres.

La vaste région dont nous venons d'esquisser à grands traits la disposition et qui s'étend du 2e au 5e degré de longitude orientale, du 35e au 32e degré de latitude, n'est point stérile sur toute son étendue. Le steppe est recouvert d'une végétation assez verdoyante lorsque les pluies de l'hiver l'ont ranimée ; il en est de même des parties du désert d'érosion, où le sol n'est pas trop salé pour arrêter toute végétation ; et quand le sable conserve une certaine fixité, grâce au gypse qui le maintient, on y retrouve également quelques spécimens de la flore des plateaux.

Les lacs salés ou Chott et les dunes de sable, à la surface incessamment agitée et remaniée par le vent, sont seuls absolument stériles. Des arbrisseaux rabougris, noueux, retenant le sable ou la terre autour de leurs pieds, de manière à former une série de buttes naturelles ; quelques graminées, des plantes littorales, qui ne prospèrent que dans les terrains contenant une certaine proportion de sel marin, couvrent le sol du désert, et sont incessamment rongées par les dents des moutons et des chameaux des nomades auxquels leurs feuilles servent de pâture pendant les mois de l'hiver.

On rencontre de plus aux abords des cours d'eau qui descendent de l'Aurès, tels que l'Oued-Biskra, l'Oued-el-Abiod, l'Oued-el-Arab, d'assez vastes espaces cultivés en céréales, pour lesquelles on utilise les eaux que les torrents fournissent en abondance en hiver et au printemps jusqu'à la fonte des neiges qui couvrent les cimes de l'Aurès. A ce moment, les blés et les orges atteignent leur maturité ; on les coupe, et le terrain reçoit, au retour de la saison d'hiver, de nouvelles semences.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'importance de ces cultures est toutefois bien limitée lorsqu'on la rapproche des besoins des populations qui occupent cette portion du Sahara, et l'existence des nomades serait compromise si la culture du dattier ne leur fournissait pas le moyen de pourvoir à leur nourriture et à des échanges qui leur assurent non-seulement l'aisance, mais la richesse. Le dattier, que l'on appelle plus communément palmier, du nom générique de l'espèce, est en effet l'arbre nourricier du désert. Sur tous les points où il peut, selon le proverbe arabe, plonger ses pieds dans l'eau et balancer sa tête au soleil, cet arbre rencontre, par les latitudes sahariennes, la somme de chaleur suffisante pour assurer la parfaite maturation de ses fruits. Planté au moyen de rejetons détachés des palmiers femelles, il porte fruit au bout de huit ans, et donne en moyenne un produit annuel de trois francs par arbre. Il prospère dans les terres les plus pauvres ; arrosé par des eaux saumâtres qui contiennent jusqu'à trois grammes de sels alcalins et terreux par litre, restant vert quand toute autre végétation est brûlée par le soleil, il résiste aux vents qui ne sauraient rompre sa tige flexible formée de fibres entrelacées, ni déraciner sa souche soutenue par de nombreuses racines qui le lient invariablement au sol.

Son bois et ses branches fournissent les matériaux nécessaires pour les habitations, et l'on voit prospérer dans les oasis, à l'ombre protectrice de sa cime qui se développe à environ 15 mètres du sol, les cultures les plus variées : des arbres à fruits, tels que le figuier, l'olivier, le grenadier ; des légumes, fèves, oignons, pastèques, le piment, condiment indispensable de la cuisine arabe, le henné et le tabac. On plante de plus, dans les clairières, de l'orge qui se consomme le plus souvent en vert (Djedria) et donne deux coupes successives au printemps, ainsi que quelques blés hâtifs.

Les palmiers sont habituellement plantés en ligne, à 7 ou 8 mètres de distance, ce qui donne de 180 à 200 palmiers à l'hectare. Leur irrigation exige, d'après des relevés pris aux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

environs de Tougourt par M. le capitaine d'artillerie Zickel, environ 70 litres d'eau par jour. Si l'on ajoute une quantité égale pour les cultures maraîchères du jardin, on arrive alors à 140 litres par vingt-quatre heures, soit à un décilitre par minute et par dattier, en rapportant tout le volume d'eau à cet arbre, qui sert habituellement de terme de comparaison pour apprécier l'importance des cultures des oasis. L'abondance des eaux forme ainsi la seule limite du développement que peuvent recevoir les plantations de dattiers, car jusqu'ici les débouchés sont faciles et assurés.

Dans les plateaux, les eaux qui descendent des montagnes et les nombreuses sources qui prennent naissance au voisinage des couches relevées des montagnes et des assises horizontales du terrain pliocène du Sahara, pourvoient en quantité suffisante aux besoins des trente-six oasis du Zibân.

Dans le désert de sable ou de Souf, qui ne compte que huit villages ou oasis, les palmiers sont plantés au fond de trous coniques de 6 à 12 mètres de profondeur, et trouvent dans le sol, à une faible distance, une nappe d'eau qui leur assure une végétation puissante.

Dans le désert d'érosion, qui comprend une quarantaine d'oasis groupés sous le nom d'Ouad-Rir, et dont Tougourte est la capitale; les jardins sont alimentés par quelques sources naturelles et par de nombreux puits artésiens. C'est de ces derniers que nous allons plus spécialement nous occuper.

§ 2. — Puits artésiens.

L'origine des puits artésiens de l'Oued-Rir est très-ancienne. Ebn-khaldoun, écrivain arabe du XIVe siècle, en fait mention; et comme Diodore, évêque de Tarse, qui mourut en 392, ainsi qu'Olympiodore, qui vivait au Ve siècle, parlent dans leurs écrits des puits artésiens de la grande oasis de la Thébaïde, on peut admettre que des puits jaillissants existaient également à cette époque dans l'Oued-Rir, car ce pays était déjà peuplé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de Berbères, lorsque Sidi Okba entreprit la conquête de l'Afrique, et il est ainsi assez difficile de supposer que l'emploi des puits artésiens ait été introduit par les arabes, à la suite de leur conquête. Ces puits ont une section quadrangulaire d'environ 80 centimètres de côté; leur profondeur, qui est variable suivant les localités, peut être estimée en moyenne entre 50 et 60 mètres. Pour les creuser, les indigènes emploient une sorte de houe à manche très-court et très-incliné sur le plan de l'outil, qui leur sert également pour le travail des jardins.

L'installation relative au fonçage se réduit à deux montants verticaux reliés à leur partie supérieure par deux traverses en bois, entre lesquelles est fixée une molette sur laquelle s'enroule un câble tressé avec les fibres ligneuses de la partie supérieure du palmier (*lif*). Ce câble sert à la fois à monter et à descendre les ouvriers, à l'extraction des matières, et à l'épuisement des eaux que l'on peut rencontrer avant la nappe jaillissante. Un seul ouvrier travaille à la fois au fond du puits. On traverse successivement, après la terre végétale, des alternances de sable plus ou moins dur, d'argile avec cristaux de gypse, et de gypse en roche, qui recouvrent un banc d'argile blanche, compacte, quelquefois mêlée de sable, au-dessous duquel on rencontre la nappe jaillissante.

Les puits sont boisés dans les parties ébouleuses ou peu solides à l'aide de cadres jointifs en bois de palmier refendu, assemblés à mi-bois. Dans les parties où l'on rencontre de petites nappes d'eau, on place derrière les cadres un corroi formé d'argile et de fumier ou de fibres de palmier mélangés en proportion convenable pour arrêter les eaux, mais on ne réussit pas toujours à les étancher, et, pour peu que le débit soit considérable, on est obligé d'abandonner le travail.

Lorsque l'on est arrivé à entamer le banc d'argile qui recouvre la nappe aquifère, la force ascensionnelle des eaux est quelquefois assez considérable pour leur permettre de se frayer un passage à travers la couche d'argile, et les eaux re-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

montent alors immédiatement à la surface. C'est ce qui est arrivé à Tammerna-Kdima, dans un puits que l'on creusait en 1863 et que l'on avait abandonné à 60 mètres, à la suite de la rencontre d'une petite nappe d'eau. Mais il n'en est pas toujours ainsi, et, dans la plupart des cas, les ouvriers sont obligés de creuser dans l'argile jusqu'à ce que l'eau jaillisse. Ils restent alors attachés au câble, et piochent vers le milieu du puits jusqu'à ce qu'ils voient sourdre l'eau. A ce moment, l'ouvrier fait un signal et on le remonte au jour. Lorsque les eaux sont abondantes, elles s'élèvent avec tant de force qu'elles ne permettent pas toujours de retirer l'ouvrier sans accident; mais le plus souvent, l'eau qui jaillit d'un trou de quelques décimètres carrés, et qui perd ainsi de sa vitesse initiale en rencontrant un puits d'une section au moins dix fois plus considérable que l'orifice d'émission, ne remonte que lentement en charriant avec elle une assez forte proportion de sable argileux qui obstrue le bas du puits sur 15 ou 20 mètres de hauteur. On facilite son arrivée au dehors, en enlevant ce sable avec des seaux que l'on manœuvre aussi rapidement que possible, mais l'eau n'atteint l'orifice du puits qu'après un intervalle plus ou moins long. Dans un puits qui a été terminé sous mes yeux en 1848, à Tebesbesth, l'eau n'a commencé à s'épancher qu'au bout de trente heures. Parfois, l'eau refuse de monter jusqu'au seuil du puits; on laisse alors le sable qu'elle charriait se déposer, et l'on fait descendre des plongeurs pour déblayer les matières qui interceptent le cours de la nappe ascendante. Chaque plongeur ne remplit qu'un couffin de sable, et remonte au jour après être resté de deux à trois minutes sous l'eau. Le déblai marche ainsi très-lentement, et les dépenses qu'il occasionne ou les difficultés du travail conduisent souvent à abandonner le puits.

Le débit de l'eau jaillissante est par suite très-variable, selon les conditions dans lesquelles elle a été rencontrée. D'après mes jaugeages de 1848, et ceux faits en 1861 par mon collègue Lud. Ville, ingénieur en chef de la province d'Alger, il est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

compris entre 120 et 160 litres par minute pour les puits les moins abondants, et 4,500 et 4,600 litres pour les puits les plus prospères.

En général, on ne réussit pas plus de six puits sur dix que l'on entreprend; leur durée est de plus assez limitée. Les cadres du boisage, peu résistants de leur nature, ne permettent guère d'entreprendre de curages au bout de deux ou trois années; ils ne tardent pas à livrer passage aux sables et argiles des parois du puits, qui viennent réduire le volume des eaux. Quelques puits tarissent ainsi au bout de douze à quinze ans, quand les palmiers qu'ils arrosent sont en plein rapport, sans que l'on puisse les nettoyer ou remplacer les boisages.

Pour le travail, on emploie des corvées qui sont fournies par le cheick du village; elles foncent les premiers mètres de l'excavation, enlèvent les sables lors de l'arrivée de la nappe, et prêtent leur concours à divers autres travaux; trois catégories d'ouvriers spéciaux terminent le travail: les puisatiers, qui foncent à partir des premiers bancs d'argile; les charpentiers, qui taillent et assemblent les cadres de boisage, et les plongeurs, qui déblaient les sables. La corvée est gratuite, les autres ouvriers sont payés par le propriétaire ou l'association qui entreprend le fonçage du puits, auxquels incombe également la nourriture de tout le personnel, l'achat des bois, des cordes, en un mot de tout le matériel nécessaire. Il en résulte que le prix du fonçage d'un puits est assez difficile à évaluer d'une manière complète en argent; on admet que pour des puits de 50 mètres environ, le prix varie, selon la difficulté du travail, de 3,400 à 4,800 francs, ce qui porterait à 80 francs en moyenne le prix du mètre courant, mais ce prix est souvent dépassé. A Tammerna, par exemple, le puits foncé en 1863 a coûté plus de 100 francs le mètre, sans compter toutes les corvées et prestations en nature pour lesquelles on ne saurait obtenir des indigènes un compte exact.

Le mode de creusement que nous venons de décrire avec ses

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chances diverses, a assuré pendant des siècles l'irrigation des oasis de l'Ouad-Rir ; mais, quelque remarquables que soient les résultats ainsi obtenus, cette méthode ne saurait supporter de comparaison avec les procédés de sondage suivis en Europe pour les forages artésiens, ainsi que nous le faisions observer dans le rapport que nous avons rédigé à la suite d'un voyage fait à Tougourt en 1848 (*Annales des Mines*, 1852, t. II.).

« La nature peu résistante des terrains ne devait présenter aucune difficulté à l'action de la sonde, et permettait d'atteindre rapidement la nappe aquifère, sans exposer la vie ou la santé des ouvriers. En faisant suivre les outils de forage par les colonnes de retenue et d'ascension, on franchirait facilement les sables qui obstruent constamment le bas des puits creusés par les Arabes et diminuent la force ascensionnelle des eaux, et l'on pourrait, en nettoyant les forages lorsqu'ils seraient encombrés par les sables, maintenir leur débit à la hauteur des besoins qu'ils sont appelés à satisfaire. Pour les puits existants, on descendrait, jusqu'aux sables acquifères, des tubages en bois ou en tôle que l'on fixerait solidement aux parois du trou et dont on déblayerait l'intérieur avec des soupapes appropriées. L'art du sondeur ouvrirait ainsi une nouvelle ère de richesse et de prospérité à tous les villages de l'Ouad-Rir, et l'introduction de nos méthodes de forage dans ces pays reculés serait un immense bienfait pour les populations actives et industrielles dans cette portion du Sahara. »

Ces prévisions sont aujourd'hui largement réalisées. A la suite d'une insurrection qui a éclaté à la mort du dernier cheick de Tougourt, cette ville a été occupée, le 2 décembre 1854, par une garnison française, et le pays de l'Ouad-Rir était rattaché à notre domination.

Dès l'année suivante, M. le général Desvaux, commandant de la province de Constantine, s'entendit avec M. Ch. Laurent, représentant de la maison Degousée, pour l'exécution de sondages dans l'Ouad-Rir. Au printemps de 1856, on se mit à l'œuvre ; un premier forage entrepris à Tammerna sous la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

direction de M. Jus, ingénieur civil, rencontra, après cinquante-deux jours de travail, à la profondeur de 60 mètres, une véritable rivière au débit de 4,000 litres d'eau par minute.

Dans les campagnes suivantes, M. Jus fut chargé d'entreprendre des sondages dans les régions encore vierges du Zab-Chergui et du Hodna, et les forages de l'Ouad-Rir se continuèrent sous la direction du lieutenant de spahis Lehaut, qui mourut à la peine en 1860, et de M. le capitaine d'artillerie Zickel qui est resté à la tête des ateliers de forage jusqu'au commencement de 1867.

Quarante et un sondages ont été conduits à bien dans cet intervalle, à une profondeur moyenne de 71 mètres par forage. On a procédé de plus à la reprise de puits que les ouvriers indigènes avaient dû abandonner, en raison de la dûreté de la roche ou de l'afflux des eaux, et au curage d'anciens puits encombrés par les sables ou par des éboulements qui avaient arrêté l'émergence des eaux. Trente-quatre puits ont été ainsi achevés ou restaurés avec un approfondissement moyen de 14 mètres par puits.

Le prix moyen du mètre d'approfondissement pour ces soixante-quinze puits s'élève à 93 francs environ, et ne dépasse pas sensiblement celui du creusement des puits arabes, tout en présentant une certitude à peu près absolue de réussite. La durée des travaux a été, en moyenne, de cinquante-deux jours pour un puits foré, alors que les indigènes terminaient rarement leur fonçage dans une campagne d'été. Pour les puits abandonnés ou bouchés que l'on a repris, et devant lesquels les Rouara avouaient leur impuissance, deux jours quelquefois ont suffi, et pour chacune des trente-quatre réfections, il a fallu en moyenne deux semaines pour terminer le travail et assurer aux populations les bienfaits de l'eau jaillissante qu'elles avaient renoncé à atteindre.

Une portion des nouveaux forages, exécutée en dehors des oasis sur la route qui les sépare de Biskra, assure des gîtes d'étape à nos troupes, aux caravanes et aux voyageurs, et a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

permis de pourvoir d'eau les nomades que l'on y a installés. Deux oasis nouvelles ont été créées ainsi et réduisent la distance que l'on a à parcourir sans eau, entre Biskra et Tougourt, à 23 kilomètres au plus. Une tentative, faite en 1861, pour chercher à obtenir des eaux jaillissantes entre Tougourt et Ouaregla, à Aïoun-Bardad, où se trouvent les traces d'un ancien village détruit par les Touareg, n'a donné que 12 litres d'eau jaillissante à la minute, et n'a pas été continuée ; mais on doit espérer que l'on reprendra cette exploration et que l'on arrivera à relier, par un réseau de fontaines jaillissantes, les sources artésiennes d'Ouaregla et de Agoussa à celles de Temaçin et de Tougourt, de manière à permettre d'aborder les riches cultures que comporte ce climat, et à attirer vers nos possessions la marche des caravanes et le commerce mystérieux du Soudan.

En résumé, la tâche accomplie par les soldats de l'armée d'Afrique dans ces dix années est assez belle et assez activement remplie pour permettre de bien augurer de l'avenir ; dans des campagnes que l'inclémence du climat saharien ne permettait pas de prolonger au delà de six mois, un détachement d'une quarantaine d'hommes, rarement secondé par les indigènes, a foré, si l'on ne tient pas compte de quelques essais infructueux inévitables dans une entreprise de cette importance et de cette étendue, soixante-quinze puits qui débitent ensemble 45,000 litres d'eau par minute, ou 64,800 mètres cubes en vingt-quatre heures. L'Ouad-Rir a été animé d'une vie nouvelle, des oasis se sont relevées de leurs ruines ; deux villages ont été créés dans les solitudes du Sahara, et 150,000 palmiers ont été plantés dans plus de mille nouveaux jardins. Les arbres fruitiers appellent les cultures, et celles-ci apporteront l'aisance, la prospérité dans des régions où tous les intérêts trouvent aujourd'hui la paix et la protection qui leur manquaient autrefois.

L'équipage de sonde dirigé par M. Jus n'a pas été aussi heureux que celui de l'Ouad-Rir ; ce n'est qu'après deux tentatives infructueuses faites dans le Ziban, à El-Faid et à Saada,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'il a réussi à rencontrer des eaux jaillissantes dans le Hodna, où la terre présente pour la culture des céréales et du coton, à une altitude moyenne de 400 mètres, accessible au colon européen, les plus beaux éléments de réussite.

Les nappes aquifères ont été atteintes dans le pliocène et dans le terrain quaternaire ; cette dernière nappe est la plus abondante, et fournit, dans les deux sondages de Mellath et Dayet-el-Habara, 1,610 et 1,140 litres d'eau à la minute. Les forages y ont un débit régulier. Ceux, plus nombreux, qui aboutissent au terrain pliocène, et qui ont produit jusqu'à 5 ou 600 litres d'eau par minute, sont sujets à des irrégularités dont la loi a échappé jusqu'ici à l'étude : les sources sont intermittentes, disparaissent même, et l'on constate, lorsque l'on cherche à les dégager, des déchirements et des aplatissements des colonnes de retenue.

On s'occupe, toutefois, activement de remédier à ces défectuosités, et l'on doit s'attendre à ce que l'on réussira prochainement à assurer au riche bassin du Hodna l'usage permanent des eaux bienfaisantes que la sonde a fait jaillir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IV

TRAVAUX DE CAPTAGE DES EAUX MINÉRALES, ÉTABLISSEMENTS THERMAUX

PAR M. JULES FRANÇOIS

L'histoire des travaux d'amélioration des eaux minérales témoigne combien est féconde la période qui, commencée vers 1840, se continue sous l'influence de causes au nombre desquelles nous mettrons d'abord la facilité et la rapidité de déplacement dues aux chemins de fer, ainsi qu'une préoccupation plus générale et plus attentive du corps médical en faveur de l'emploi des eaux minérales contre les affections chroniques.

L'importance croissante de l'exploitation des eaux minérales, dont l'usage, on le peut dire, passe dans les mœurs, est attestée à l'Exposition universelle de 1867 par de nombreux spécimens de ces eaux qui y ont été envoyés par plusieurs États de l'Europe. L'Empire Ottoman, la Roumanie, les États autrichiens, l'Italie, la France, la Suisse, l'Espagne, le Portugal, le nord de l'Allemagne s'y sont fait représenter par des types intéressants et variés. Par les soins de M. Ludovic Ville, ingénieur en chef des mines, l'Algérie a réuni, dans une nombreuse collection d'échantillons, les spécimens de ses genres les plus remarquables d'eaux minérales.

La marche ascendante de la mise en valeur de ces produits immédiats du sol peut être accusée d'une manière toute pra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tique par l'exposé sommaire des travaux de recherche et de captage d'eaux minérales, ainsi que de ceux de construction ou d'amélioration des établissements thermaux, accomplis ou préparés dans la période de 1860 à 1867.

CHAPITRE I.

RECHERCHE ET CAPTAGE D'EAUX MINÉRALES.

Travaux à la sonde.

Bourbonne-les-Bains (France).
Bourboule (France).
Coursan (France).
Enghien (France).
Hombourg (Prusse).
Lamalou-le-Haut (France).
Lamalou-du-Centre (France).
Lavey (Suisse, canton de Vaud).
Nowenahr (Prusse rhénane).
Soden (Prusse).
Spa (Belgique).
Vals (France).

Travaux par puits et tranchées, avec enchambrement à l'émergence.

Ax (France).
Bourboule (France).
Bourbon-l'Archambaut (France).
Contrexéville (France).
Eaux-Bonnes (France). — Source d'Ortech.
Enghien (France). — Source Coquille.
Plombières (France). — Source du Thalweg.
Saint-Galmier (France).
Schinznach (Suisse, canton d'Argovie).
Ussat (France). — Source de la rive gauche de l'Ariège.
Vergez (France).
Wiesbaden (Prusse).
Wilbad (Wurtemberg).

Travaux par galeries de niveau à la roche avec enchambrement à l'émergence.

Aix-les-Bains (France).
Bouridet-Capvern (France).
Campagne (France).
Cauterets (France).
Lamalou-Lancien (France). — Sources de l'Usclade.
Luchon (France). — Sources du Sud.
Plombières (France). — Sources savonneuses.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Travaux par semelle de béton avec colonne de captage à l'émergence.

Aix (Bouches-du-Rhône, France).
Aix-la-Chapelle (Prusse rhénane).
Barèges (France).
Dax (France).

L'art de capter les eaux minérales, à en juger par les traces nombreuses qui subsistent, est d'origine ancienne. Comme l'art de conduire et de distribuer les eaux dans les villes, il florissait déjà pendant la période gallo-romaine, qui fut aussi, sous nos aïeux, celle du culte des sources. Il s'était élevé à la hauteur de la spéculation et de l'application scientifique. Il a eu, on n'en saurait douter, ses ingénieurs spéciaux, comme on en découvre l'indication précise dans l'ensemble des travaux de Vichy, Néris, Évaux, Bourbon-Lancy, Bourbon-l'Archambault, Saint-Honoré, etc., pour le groupe du centre de la France; et dans ceux de Luchon, de Bagnères, d'Amélie-les-Bains, pour le groupe des Pyrénées (versant français).

L'ingénieur gallo-romain avait ses règles pour la mise à découvert et pour le captage des sources thermales. Il procédait souvent par une découverte à ciel ouvert, à front vertical et à plate-forme horizontale, placée soit à flanc de coteau (Bourbon-Lancy, — Saint-Honoré), soit perpendiculairement au thalweg du lieu des sources (Évaux, Plombières). C'est à la plate-forme de la découverte que, sur les points d'émergence les plus accusés, il fonçait des puits à la roche, ou bien y implantait des tubes et colonnes de captage.

D'autres fois (et le cas est fréquent), il consolidait l'émergence par des massifs de retenue et par des semelles en béton. On a trouvé à Plombières, à Luchon, à Vichy, des massifs de retenue d'une importance capitale. La semelle de béton a été d'un emploi plus fréquent. Tantôt elle recouvrait l'espace compris entre une série de puits à la roche (Bourbon-Lancy, — Saint-Honoré), tantôt elle s'étendait sur toute la surface de la plate-forme, pour y enserrer et y soutenir la base des tubes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et colonnes de captage (Évaux, — Néris, — Bagnères). D'autres fois, la semelle de béton formait le pourtour et remplissait les intervalles d'une série de bassins, ou bien de piscines dont la succession indiquait, à ne point s'y tromper, la hiérarchie sociale d'alors. En tête, les deux piscines ornées pour les patriciens des deux sexes; puis celles des soldats et du peuple; à l'aval, celles des esclaves.

Nulle part on ne trouve, dans les travaux de découverte, des sources de la période gallo-romaine, des traces de l'emploi de la sonde et du percement de galeries souterraines. En un seul point, à Aix-les-Bains, au lieu dit le Cul-de-Lampe, on pouvait, il y a quelques années, remarquer un ouvrage romain en forme d'aqueduc de 4 à 5 mètres seulement de pénétration, qui se dirigeait vers l'émergence de la source d'alun.

Les tubes et colonnes de captage étaient en bois (Luchon, — Bagnères, etc.), ou en brique (Évaux, — Amélie-les-Bains, — Néris, — Bourbon-Lancy, etc.), ou bien en pierre (Évaux, — Saint-Honoré, — Plombières, — Luxeuil, — Bains, etc.)

Tous les travaux de captage d'eaux minérales de l'époque gallo-romaine se distinguent par des conditions de stabilité et de durée qui leur ont permis de servir, depuis la renaissance de l'usage de ces eaux jusqu'au commencement du siècle. C'est encore de puits romains dont on se sert à Saint-Honoré, à Bourbonne-Lancy, à Néris, à Bourbon-l'Archambault et sur beaucoup d'autres points.

On a peu fait chez nous, depuis la période gallo-romaine, en matière de recherches et de captage des sources thermales jusqu'au milieu du XVIII^e^ siècle. Presque partout on a vécu sur le passé. Comme chez les anciens, on se baignait en commun. On ne signale guère, pendant la fin du XVIII^e^ siècle et le commencement du XIX^e^ siècle, que les tubages de Barèges, de Castéra, de Plombières, de Luxeuil, et les enchambrements de Bourbonnes, de Bagnères, de Pougues et de Vichy.

Ce n'est que de 1830 à 1840 et depuis que la recherche et le captage des sources minérales ont fait d'incontestables pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grès, sous l'influence d'un usage de plus en plus généralisé par la progression des connaissances médicales et par l'extension des moyens de rapide et facile communication.

On a vu plus haut que les anciens avaient pratiqué, d'une manière large et bien entendue, la découverte en roche des eaux minérales, soit par voie d'excavation par tranchée à front vertical et à plate-forme horizontale, soit par foncement de puits également à la roche, et qu'ils en avaient réalisé le captage ou l'enchambrement par tubes ou par colonnes verticales, combinés avec le barrage ou massif de retenue et avec la semelle de béton.

Ces dernières mesures ont été appliquées depuis avec succès sur plusieurs points. On cite, notamment, Baréges, Aix-la-Chapelle (source de l'Empereur), Aix (Bouches-du-Rhône), Luchon, etc.

Mais les progrès de l'art des mines et de l'emploi de la sonde avaient ouvert d'autres voies à la recherche des eaux minérales, dont les origines géologiques et le gisement étaient mieux connus. Aux vastes découvertes des anciens on a substitué, avec avantage, la galerie souterraine, qui permet de s'étendre et d'explorer avec rapidité sur une grande surface. L'exploration de niveau n'était pas suffisante ; par les conditions propres au gisement des eaux minérales, il fallait aussi et souvent explorer et agir en profondeur; d'où le foncement de puits plus profonds que ne le pratiquaient les anciens; d'où également le recours à la sonde.

En France la recherche par galerie de niveau a précédé l'emploi de la sonde. On trouve des spécimens de la découverte par galeries souterraines à Uriage, à Luchon, à Baréges, à Cauterets, etc. Nous n'avons point de puits de profondeur.

Chez nos voisins on a peu ou pas pratiqué la recherche par galeries souterraines. On en cite quelques exemples dans les Pyrénées espagnoles, à Lez, à Artiès (vallée d'Aran). Quant aux puits de profondeur, on indique ceux de Lavey (canton de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Vaud), de Schinzonach (Argovie), de Bade (Suisse), de Borcette, de Munster, de Kreuznach, de Soden, de Nauheim (Prusse), etc.

Quant à l'emploi de la sonde pour recherche et captage des eaux minérales, l'Allemagne nous a de beaucoup précédés. Cela tient, on peut le croire, aux grands sondages, pour recherches d'eau salée, auxquels donna lieu l'exploitation de salines, et notamment de celles de Kreuznach, de Kissingen, de Munster, d'OEynhausen, de Nauheim, etc. On sait que ces sondages ont amené au jour des sources thermales des plus puissantes, qui sont actuellement fréquentées par une clientèle nombreuse, et parmi lesquelles on cite notamment : l'*Elisenquelle*, la *Hearlshalle* de Kreuznach, le *Munster*, le *Thermalsoole* d'OEynhausen, le *Grosser-sprudel* de Nauheim, le *Schonborn-sprudel* de Kissingen, etc.

En France l'application de la sonde à la recherche et au captage des eaux minérales a pris une extension remarquable. Elle a été pratiquée dans onze de nos principaux établissements. Il en est résulté vingt-neuf sources nouvelles, dix sources anciennes améliorées, avec un accroissement de 1,910,000 litres.

Une des plus remarquables applications de la sonde dans nos établissements est celle faite par les départements des Travaux publics et de la Guerre à Bourbonne-les-Bains, où l'on a employé le tubage fenetré.

A Spa (Belgique), on a également fait usage de la sonde et du tubage fenetré pour la recherche et le captage de la source du Pouhon de Pierre-le-Grand et de celles de Nivezée. M. Jules Van Scherpenzeel Thimm nous a donné son active et intelligente collaboration à ces travaux, qui assurent au nouvel établissement minéral de Spa un contingent journalier de 480 à 500 mètres cubes d'une eau remarquablement ferrugineuse (proto-carbonatée-ferreuse).

Dans le sondage de Nivezée on a fait concourir la pression

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hydrostatique à la complète séparation de l'eau minérale et des infiltrations souterraines.

Ce mode d'application moderne, qui consiste à soutenir et à équilibrer l'eau minérale, dans sa marche ascendante, par des eaux ambiantes, a reçu plusieurs applications, notamment à Luchon, à Ussat, à Lavey.

Les ingénieurs des mines ont donné leur concours ou fourni leurs conseils pour l'exécution du plus grand nombre des travaux pratiqués pour la recherche et pour le captage des eaux minérales.

Il ne nous a pas été possible de nous renseigner suffisamment sur les résultats de tous les travaux d'amélioration des sources minérales exécutés en Europe de 1840 à ce jour. Cependant nous sommes près de la vérité en indiquant que les travaux exécutés de 1860 à 1867, et dont nous avons donné la nomenclature, ont produit 74 sources nouvelles, amélioré 63 sources anciennes et mis en valeur un contingent journalier d'environ 7,240,000 litres d'eaux minérales diverses, destinées à desservir des besoins plus étendus et sans cesse croissants.

Nous ajouterons que, pour la France, les travaux entrepris de 1840 à ce jour sur nos sources d'eaux minérales ont produit, dans leur ensemble, les résultats suivants :

On a découvert et capté 252 sources nouvelles ; on a capté ou enchambré 347 sources anciennes ; enfin on a augmenté d'environ 14 à 15 millions de litres le contingent journalier que fournit l'ensemble des sources de l'Empire (partie continentale).

De tels résultats ont leur valeur. L'exploitation des eaux minérales, dont le bénéfice s'adresse actuellement à toutes les classes, et qui contribue à la santé publique, a pris une place marquée parmi les branches de la richesse générale.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

ÉTABLISSEMENTS THERMAUX.

Le mouvement imprimé dès 1840 à l'usage des eaux minérales a fait construire de nouveaux établissements de bains, en même temps qu'il a déterminé l'introduction de modes d'administration perfectionnés ou nouveaux, et provoqué l'amélioration et l'agrandissement des anciens bains.

De 1860 à 1867 nous avons à signaler les travaux suivants :

Aix (Bouches-du-Rhône). — Agrandissement (Agr.) et amélioration (Am.) des bains. — Construction (Constr.) d'une annexe.

Aix-la-Chapelle. — Reconstruction (Reconstr.) du bain de l'Empereur.

Aix-les-Bains (Savoie). — Continuation des travaux d'agr. — Nouvelles piscines; douches de soubassement. — Salles d'inhalation. — Hospice thermal.

Alhama de Aragon. — Am. des Eaux et des Bains.

Alet (Aude). — Constr. d'un bain.

Ax (Ariége). — Am. des bains de Tech et du Breil. — Reconstr. du Bain Montmorency. — Constr. du nouveau Bain du pont du Breil.

Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales). — Projet d'agr. et d'am. des thermes militaires. — Am. du Bain Pereire et du Bain Pujade.

Baden-Baden. — Constr. de la Trinkhall et d'un nouveau Bain.

Bagnères (Hautes-Pyrénées). — Agr. et am. des Thermes de la ville. — Projet d'une annexe.

Balaruc (Hérault). — Am. et agr. de l'établissement thermal.

Baréges (Hautes-Pyrénées). — Reconstr. de l'établissement thermal et de l'Hôpital militaire.

Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne). — Projets définitifs de Reconstr. des établissements thermaux civils et militaires.

Bourbon-l'Archambault (Allier). — Projet de reconstr. de l'établissement thermal.

Campagne (Aude). — Agr. et am. des bains.

Cauterets (Hautes-Pyrénées). — Conduite amenée à Cauterets de l'eau des OEufs et du Mahourat.

Contrexeville (Vosges). — Agr. et am. des bains.

Dax (Landes). — Constr. du Bain de Fossés de la ville et du Bain de la Citadelle.

Enghien (Seine-et-Oise). — Reconstr. de l'ancien établissement des bains. — Constr. du Bain Coquil.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

LAMALOU-L'ANCIEN (Hérault). — Agr. et am. de l'ancien bain. — Constr. de nouvelles piscines.
LAMALOU DU CENTRE. — Am. du bain ancien.
LAMALOU-LE-HAUT. — Constr. d'un nouveau bain.
LAVEY (Suisse, canton de Vaud). — Reconstr. de l'ancien bain.
LUCHON (Haute-Garonne). — Continuation des travaux d'agr. et d'am. — Salles d'inhalation et humage. — Nouvelles salles de bains.
LUXEUIL (Haute-Saône). — Am. des bains. — Reconstr. du Bain Neuf, du Bain des Bénédictins et du Bain des Fleurs.
MARLIOZ (Savoie). — Constr. de l'établissement thermal et d'un bain annexe.
MONTE-CAFFINI (Italie). — Am. des sources, des Bains et des Grottes.
MONT-D'OR (Puy-de-Dôme). — Agr. et am. des Thermes.
NÉRIS (Allier). — Agr. et am. des Thermes. — Constr. du Bain des Indigents et des bassins de réfrigération.
NOWENAHR (Prusse-Rhénane). — Constr. d'un établissement de bains.
PANTICOSA (Espagne). — Am. des Eaux et des Bains.
PLOMBIÈRES (Vosges). — Constr. du Bain Napoléon et des Étuves romaines. — Am. des anciens bains.
POUGUES (Nièvre). — Am. de l'établissement des bains.
SAIL-SOUS-COUZANS (Loire). — Constr. d'un bain.
SAINT-ALBAN (Loire). — Am. de l'établissement de bains.
SAINT-MORITZ (Suisse, canton des Grisons). — Reconstr. de l'établissement de bains.
SAINT-SAUVEUR (Hautes-Pyrénées). — Agr. de l'établissement thermal.
SPA (Belgique). — Conduite d'amenée de l'eau du Nivezié à Spa. — Constr. d'un nouvel établissement de bains.
SCHINZNACH (Suisse). — Am. et agr. de l'établissement des bains.
TARASP (Suisse, canton des Grisons). — Reconstr. de l'établissement des bains.
URIAGE (Isère). — Am. et agr. de l'établissement des bains.
VICHY (Allier). — Am. et agr. des établissements de bains. — Constr. d'une gare spéciale pour l'expédition des eaux.
WIESBADEN (Prusse). — Constr. d'un nouvel établissement de bains. — Constr. de la Trinkhall du Kockbrunn.
WILDBAD (Wurtemberg). — Am. et agr. des établissements de bains.

Soit : 22 établissements thermaux agrandis et améliorés;
7 — reconstruits ;
17 nouveaux établissements ;
6 projets définitifs pour reconstruction d'établissements importants.

Les documents statistiques que nous avons pu recueillir sur les eaux minérales étrangères ne permettent aucunement de résumer les résultats des améliorations réalisées aux établis-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sements thermaux. Les données sont plus complètes en ce qui concerne la France.

En 1867, dans l'Empire français (partie continentale), on compte 893 sources minérales exploitées dans 246 stations thermales. Dans l'ensemble de ces stations il y a 118 établissements anciens, 37 agrandis et améliorés, 48 nouveaux ou reconstruits ; ensemble 203 établissements.

Les sources d'eau minérale sont très-nombreuses en Algérie. Aujourd'hui encore les indigènes en font usage comme on le faisait en Europe du neuvième au quatorzième siècle, c'est-à-dire qu'ils se plongent dans des bassins naturels ou d'origine romaine, à l'émergence des sources.

L'autorité militaire a facilité cet emploi traditionnel des eaux en établissant des piscines, notamment aux sources de Biskra, de Hamman Oulcid Zeid, des Bibans, de Hammam Mélouan, de Hamman ben Adjar, etc.

En outre on compte en Algérie plusieurs établissements thermaux civils et militaires de construction récente; tels sont les bains de Hammam Rhera, de Hammam Meskoutin, de Hammam ben Hamfin et des Eaux de la Reine.

Nous ne saurions terminer ce rapide exposé des travaux d'amélioration des sources d'eaux minérales et des établissements thermaux sans parler de l'importance marquée et toujours croissante de l'expédition de ces eaux. Les chiffres que nous allons citer, et qui se rapportent à des sources françaises, témoignent de la généralisation de l'usage des eaux minérales.

On expédie non-seulement les eaux dites médicinales, telles que Bonnes, Challes, Spa, Vichy, Vals, Barèges, Labasserre, etc., mais encore des eaux minérales dites hygiéniques ou de table, telles que Saint-Galmier, Condillac, Bussang, Vergèse, Soultzmatt, etc.

Les chiffres d'expédition annuelle les plus considérables sont ceux qui se rapportent aux eaux à la fois médicinales et hygiéniques et aux eaux simples de table. Ainsi, pour les pre-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mières, Vichy a dépassé le chiffre de 2,260,000 bouteilles ; Vals a atteint celui de 690,000 bouteilles. La station de Saint-Galmier n'en expédie pas moins de 4 à 5 millions.

Ce dernier résultat est de bon augure pour la santé publique ; il prouve en effet que de l'eau minérale hygiénique ou de table se substitue de plus en plus à l'eau ordinaire artificiellement surchargée d'acide carbonique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION V

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'EXPLOITATION DES MINES

PAR M. CALLON.]

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

D'après le système de classification adopté pour l'Exposition universelle de 1867, la classe 47 comprend l'ensemble des procédés employés par les industries des mines et de la métallurgie. Ces industries, considérées dans leur ensemble, figurent aux premiers rangs par la somme des valeurs qu'elles créent annuellement, et, plus encore peut-être, par le degré d'utilité de leurs produits nombreux et variés. Il suffit de citer ici les matériaux divers de construction, les métaux et la houille, pour reconnaître que ces produits sont au nombre de ceux dont l'homme, dans l'état actuel de la civilisation, ne peut absolument se passer.

Dès les premiers âges de la société, depuis que l'humanité est sortie de l'âge de pierre, c'est-à-dire du moment où l'homme a commencé à employer le bronze pour façonner ses outils, sont nées l'exploitation des mines et la métallurgie. De nos jours, avec le prodigieux développement de l'industrie, la houille est devenue un autre agent presque aussi indispensable que les métaux. Aujourd'hui, dans les pays où la population

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est nombreuse et adonnée à l'industrie, le combustible végétal qu'ils produisent est absolument insuffisant pour satisfaire à tous les besoins, et cette insuffisance augmente tous les jours.

Ces industries, en même temps qu'elles livrent ainsi des produits de première nécessité, sont au nombre de celles dont les procédés offrent le plus d'intérêt, et c'est là le point de vue qui doit spécialement nous occuper dans cette notice. Les gîtes de matière utile ne sont pas en général formés de masses homogènes, se présentant à la surface du sol, et dans lesquelles l'homme n'aurait pour ainsi dire, qu'à puiser selon ses besoins. Le plus souvent, au contraire, ils sont enfouis à des profondeurs plus ou moins grandes; ils sont irréguliers, discontinus, offrant la matière utile associée à des matières stériles. La loi de leur distribution est difficile à saisir, et habituellement la découverte d'un gisement nouveau et la constatation de la possibilité de l'exploiter avec avantage constituent, à elles seules, une entreprise considérable qui demande beaucoup de temps et de capitaux.

La mise en exploitation est une entreprise plus considérable encore. La profondeur à laquelle le mineur doit porter ses travaux se compte souvent par centaines de mètres. Il doit y lutter contre les eaux qui tendent sans cesse à l'envahir; il faut qu'il assure la ventilation de ses chantiers, qu'il se pourvoie de moyens mécaniques puissants pour y introduire les ouvriers et pour en extraire la matière qui fait l'objet de son exploitation. Cette matière n'est presque jamais à l'état de pureté, et, amenée au jour, elle doit être soumise à des élaborations particulières pour être débarrassée des matières stériles avec lesquelles elle est mécaniquement mélangée.

Enfin, après cette préparation mécanique qui complète l'œuvre du mineur, la matière n'est pas habituellement susceptible d'être employée dans l'industrie, et elle doit encore être soumise à des élaborations souvent fort complexes, dans lesquelles interviennent des actions chimiques et méca-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

niques diverses qui rentrent dans le domaine de la métallurgie.

L'ensemble de ces opérations, qui constituent l'industrie minérale, est tel qu'il n'est presque aucun procédé technique qui lui demeure étranger, et l'on peut même dire que c'est à cette grande industrie que sont dus, pour une bonne part, les progrès de plusieurs sciences et les découvertes les plus importantes des arts industriels.

Ainsi, c'est à l'exploitation des mines que sont dues les sciences toutes modernes de la minéralogie et de la géologie. C'est pour les mines qu'ont fonctionné, au moyen âge, les premiers moteurs hydrauliques rationnellement établis. C'est pour les mines qu'ont fonctionné au dernier siècle les premières machines à vapeur. C'est dans les mines encore que plus récemment ont été établies les premières voies ferrées, dont le développement constitue le fait industriel et social le plus important qui se soit jamais produit. C'est à la métallurgie enfin que la chimie, qui joue aujourd'hui un rôle si prépondérant dans tant d'industries, a dû ses premiers progrès.

On voit par cet exposé rapide quel intérêt, quelle attention mérite, à un moment donné, l'examen des progrès et des tendances de l'industrie minérale.

Nous bornant, dans cette partie du rapport, à l'industrie des mines proprement dite; c'est-à-dire à l'exploitation des minerais et à leur préparation mécanique, nous reconnaissons que, pourvue désormais de moyens mécaniques puissants et variés, la tendance principale qui se manifeste dans toutes les branches de cette industrie est l'utilisation de plus en plus large de ces moyens, en économisant le plus possible sur la main-d'œuvre.

Cette tendance, à vrai dire, est à peu près générale. Dans toutes les industries la main-d'œuvre devient de plus en plus rare, ou, ce qui est le même fait économique, de plus en plus chère. Mais cette rareté se manifeste plus particulièrement dans les industries où le travail est pénible ou dangereux, ou bien encore éloigne l'homme des jouissances qu'il a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une tendance chaque jour croissante à rechercher. Tel est le cas pour l'agriculture et pour l'art des mines.

Les exploitants de mines rencontrent une difficulté toujours plus grande à recruter leurs ouvriers; ce recrutement deviendrait en quelque sorte bientôt impossible, avec le développement que doit nécessairement recevoir encore la production minérale pour satisfaire aux besoins sans cesse renaissants de la consommation, si l'on ne parvenait pas à réaliser une production donnée avec un moindre nombre de bras.

C'est là d'ailleurs, on doit le reconnaître, un problème général. A mesure qu'avec les progrès de la civilisation augmentent les besoins des masses, il faut que la production de toutes choses augmente aussi, et dans une proportion plus rapide que le chiffre de la population; il faut donc que l'effet utile de l'homme augmente, sans accroître et même en diminuant sa fatigue, et que par conséquent il utilise de plus en plus largement les agents naturels qui sont à sa disposition. C'est là, et non ailleurs, que se trouve la solution de cette grande question de l'amélioration matérielle des masses.

Nous allons examiner quel est, à ce point de vue, l'état de l'art des mines dans ses différentes branches, et quelles sont ses tendances.

CHAPITRE II.

EXPLOITATION DES MINES.

§ 1. — Extraction et épuisement.

En ce qui concerne l'extraction des matières exploitées et l'asséchement des mines, l'évolution qui consiste à substituer à la force de l'homme d'autres forces naturelles peut être considérée comme effectuée. Nulle part en effet aujourd'hui,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans les pays avancés, sauf pour des exploitations sans importance et d'un caractère en quelque sorte éphémère, on ne fait l'extraction par des treuils et l'épuisement par des pompes à bras. L'emploi même des chevaux, bien que plus économique que celui des hommes, se restreint chaque jour devant l'emploi, plus économique encore, soit des moteurs hydrauliques, lorsque les circonstances s'y prêtent, soit, plus fréquemment, des moteurs à vapeur. Il est d'ailleurs facile de voir que, dans un grand nombre de cas, la question d'économie n'est pas seule engagée dans cette suppression des moteurs animés.

Si, en effet, nous prenons un district où il existe des mines profondes et à forte production, comme le Hainaut par exemple, qui comprend les houillères de Mons, celles du Centre et celles de Charleroi, nous trouvons, d'après une publication récente de M. l'ingénieur Jochams, que la plupart des puits ont de 300 à 500 mètres de profondeur; 35 d'entre eux ont de 500 à 600 mètres, 11 de 600 à 700 mètres, et enfin 2 dépassent 700 mètres. Ajoutons que, pendant les dix dernières années, l'accroissement moyen annuel de la profondeur de tous ces puits a été de $8^{m}70$. Supposons un de ces puits de 500 mètres de profondeur, par exemple, avec une extraction journalière de 400 tonnes, qui n'a rien d'excessif; cette extraction demanderait au moins 200 chevaux attelés à des manéges ou 1,200 hommes agissant sur des manivelles, c'est-à-dire un personnel plus nombreux que celui qui travaille à l'intérieur de la mine. Il y aurait non-seulement une dépense excessive, mais, on peut le dire, une impossibilité matérielle à utiliser un tel personnel autour de l'orifice d'un puits. Il est donc rigoureusement vrai de dire que ces mines du Hainaut, comme beaucoup d'autres en France, en Angleterre, en Belgique et ailleurs, ne pourraient être exploitées sans machines à vapeur. Ce qui est vrai aujourd'hui le deviendra davantage à mesure que les mines iront en s'approfondissant, soit à cause de la profondeur, qui augmentera le travail de l'extraction

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'une tonne, soit parce que cette profondeur même, entraînant des frais d'installation considérables, conduira les exploitants à demander à chaque centre de production une extraction journalière d'un plus grand nombre de tonnes.

Les appareils d'extraction généralement employés aujourd'hui sur les houillères, tant en France qu'en Belgique, sont des machines à vapeur à deux cylindres conjugués, verticaux ou horizontaux, à haute pression, faible détente et sans condensation. Les bielles motrices attaquent directement l'arbre des bobines, sans l'intermédiaire d'aucun engrenage.

Cet arbre porte un volant léger, muni d'un frein à vapeur. La distribution est tantôt à tiroir, tantôt à soupapes ; le changement de marche a lieu au moyen d'une coulisse. Les machines d'extraction exposées se rapportent toutes à ce type, très-bien approprié à sa destination, surtout lorsqu'on veut pouvoir faire rapidement les manœuvres de réception au jour et à la place d'accrochage.

On a été unanime à reconnaître la supériorité des machines françaises exposées. Celles de MM. Schneider et Cie, du Creusot, ont paru irréprochables, tant par le fini de l'exécution que par la bonne disposition générale : le frein est parfaitement agencé pour éviter sur l'arbre tout effort inutile de flexion; le mécanicien est bien en vue des bobines ; il a sous la main et peut manœuvrer avec une grande facilité le levier de changement de marche, celui du régulateur et celui du frein. La machine exposée par M. Quillacq, d'Anzin, est aussi très-satisfaisante. Elle est accompagnée de dessins des divers types de machines d'extraction que M. Quillacq a livrées en grand nombre non-seulement en France, mais encore à l'étranger et jusqu'en Angleterre, à des conditions de prix très-modérées. Quant aux appareils d'épuisement, ils excluent, plus encore peut-être que les appareils d'extraction, l'emploi des moteurs animés; car le poids de l'eau à extraire journellement est souvent égal, quelquefois même très-supérieur, au poids des minerais. Le type des grandes pompes permanentes d'épuise-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment semble fixé, et il n'a reçu dans ces dernières années aucune modification essentielle. Les moteurs sont généralement des machines à vapeur, soit à balancier, soit à traction directe. On a repris récemment avec avantage, aux mines de la Vieille-Montagne, un type de machines à deux cylindres qui permet, avec une masse donnée pour les attirails des tiges et des contre-poids, l'emploi de la détente sur une plus large échelle.

L'Exposition ne présente pas de machines d'épuisement. M. Quillacq a seulement produit le dessin d'une très-grande machine qu'il vient de livrer pour la reprise des mines de houille d'Hardinghem. Outre les pompes fixes pour les épuisements permanents, on emploie des pompes volantes ou *pompes d'avaleresse*, destinées à des épuisements temporaires dans le percement des puits, à travers des terrains aquifères. Ces pompes ont reçu, dans ces dernières années, divers perfectionnements de détail sur lesquels il ne paraît pas nécessaire de s'arrêter ici, les procédés nouveaux pour le fonçage des puits *à niveau plein*, c'est-à-dire sans épuisement, étant de nature à restreindre l'emploi des pompes d'avaleresse.

§ 2. — Echelles mécaniques Bennes, etc.

Pendant fort longtemps, dans la plupart des mines, les ouvriers se rendaient à leurs chantiers ou en revenaient au moyen d'échelles convenablement disposées dans un compartiment spécial d'un des puits. Ce double trajet absorbait inutilement, dans les mines profondes, une partie considérable de la force des hommes, et les obligeait même de renoncer prématurément au travail de la mine. Vers 1830, on a introduit au Hartz, et peu après dans le Cornouailles, les échelles mécaniques connues sous le nom de Fahrkunst en Allemagne, et de Man Engines en Angleterre. C'était assez naturellement dans ces contrées que ces appareils devaient prendre naissance, tant à cause de l'énorme profondeur déjà atteinte par les travaux,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que par la disposition des puits d'extraction, généralement inclinés, qui ne permettait pas, comme on le pratiquait dès lors et comme on l'a pratiqué beaucoup plus depuis cette époque, de faire descendre ou tout au moins remonter les hommes au moyen des câbles d'extraction. On emploie donc aujourd'hui concurremment ces deux moyens: 1° *Echelles mobiles* disposées de manière à placer l'homme dans les mêmes conditions que s'il cheminait sur un plan horizontal, la fonction de la machine étant d'effectuer, sans fatigue pour l'homme, le changement de niveau correspondant à la montée ou à la descente ; 2° *Bennes*, ou plus souvent cages guidées, manœuvrées par les câbles de la machine d'extraction. Ce second moyen est de beaucoup le plus usité aujourd'hui, et il ne paraît pas, avec des soins et une surveillance convenable du câble et des guides, offrir de dangers bien sérieux. Néanmoins on doit concevoir que l'emploi de ce moyen n'est pas sans inconvénient au point de vue de la meilleure utilisation de la machine d'extraction. La descente et la remonte d'un personnel nombreux, à la fin de chaque poste, emploient un temps considérable et restreignent forcément la production, qu'on a d'autant plus d'intérêt à augmenter qu'il s'agit d'exploitations plus profondes, dont l'installation a exigé de plus grands capitaux.

Il est donc permis de croire que l'emploi des échelles mécaniques est appelé à s'étendre, et cette considération mérite de fixer l'attention des ingénieurs appelés à dresser des projets d'installation de mines. Ils feront sagement, pour les exploitations destinées à atteindre, avec le temps, à de grandes profondeurs, de déterminer les sections de leurs puits de manière à parer à tous les besoins. Une installation complète devra présenter, dans ce cas, un compartiment pour l'extraction, servant en même temps à l'entrée de l'air, un compartiment pour l'épuisement, un autre pour des échelles mécaniques et des échelles fixes ordinaires, et enfin un quatrième distinct des autres, servant au retour d'air. Il y aura toujours avantage à établir des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

puits ayant une section aussi grande que pourront le permettre les circonstances du foncement même de ces puits.

§ 3. — Transport intérieur.

Dans l'antiquité le transport intérieur du minerai, depuis le chantier jusqu'au jour, se faisait quelquefois au moyen d'une file d'ouvriers qui se passaient de main en main, et pour ainsi dire morceau par morceau, la matière à extraire. Il ne peut plus être question aujourd'hui d'un semblable procédé. Le portage à dos, le traînage sur le sol des galeries et le transport à la brouette sont des procédés relativement perfectionnés et que l'on voit encore en usage aujourd'hui. Ils sont cependant fort insuffisants, et dans toutes les mines un peu étendues, même dans celles où la mobilité du sol des galeries rend difficile de maintenir la bonne assiette de la voie, les chemins de fer, combinés avec des plans automoteurs pour racheter les différences de niveau des divers étages, sont, ou doivent être, on peut le dire, exclusivement employés. Il n'y a pas en général de comparaison à établir entre les frais supplémentaires d'entretien que pourra nécessiter une galerie, pour y poser et y maintenir la voie en bon état, et l'excédant de frais de transport qu'y occasionnerait l'absence de cette même voie. Il ne saurait y avoir à cet égard d'exception que pour des galeries très-courtes et où le total des matières à transporter serait peu important, et encore à la condition que la pose de la voie n'y soit pas très-facile.

En résumé, une mine doit être considérée, en général, comme devant recevoir un réseau complet de chemins de fer, et il convient d'avoir sans cesse en vue cette considération dans la détermination des dimensions des galeries et surtout de leur profil en long, qui doit être aussi régulier que possible. Les différences de niveau qui existent d'un étage à l'autre, ou qu'amènent les failles ou autres accidents, seront d'ailleurs, autant que possible, franchies au moyen de plans inclinés. Enfin,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour les grandes distances, partout où la section des galeries le permettra, les rouleurs seront remplacés par des chevaux.

L'exposition de M. Quillacq présente, pour petits chemins de fer de mines, un système nouveau de traverses en fer qui commence à se répandre en Belgique. L'exposition de la compagnie d'Anzin présente un système de plans inclinés automoteurs avec contre-poids, disposé de manière à pouvoir être facilement déplacé, à se prêter successivement à des pentes variables, et enfin à n'exiger que des galeries inclinées d'une très-faible largeur. Ce système, étudié par M. Taza-Vilain, constructeur à Anzin, se prête parfaitement bien à l'exploitation des couches minces à allures accidentées et à toits peu solides, que l'on rencontre fréquemment dans le nord de la France et en Belgique. Nous devons signaler enfin, dans l'exposition anglaise, un appareil imaginé par M. Fowler et désigné sous le nom de *Patent clip pulley*. C'est une poulie dont la gorge présente une série d'articulations qui serrent le câble en proportion de la tension qu'il éprouve et empêchent son glissement. Ce système, peut-être un peu complexe, paraît prendre faveur en Angleterre ; il est notamment très-employé dans les plans inclinés qui desservent les grandes mines de fer du Cleveland.

L'emploi des chemins de fer dans les mines a réduit dans une énorme proportion les frais de transport d'un poids donné sur une distance donnée. Il a donc permis d'augmenter les distances, c'est-à-dire d'étendre le champ d'exploitation d'une mine, ou, ce qui est la même chose, sa puissance de production ; il a agi, à cet égard, dans le même sens que l'emploi des moyens puissants d'extraction. L'exploitation d'une grande mine, avec le développement que l'on donne aujourd'hui aux travaux, ne serait pas plus possible, sans chemins de fer intérieurs, qu'elle ne le serait réduite pour l'extraction à l'emploi des moteurs animés.

Les chemins de fer des mines sont généralement desservis par des hommes ou par des chevaux, et il ne semble guère

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

possible, avec les dimensions ordinaires des galeries et avec les exigences de la ventilation, d'y employer des machines locomotives mues par l'action de la vapeur. On a songé à substituer à la vapeur d'eau l'air comprimé. La machine porterait un tender cylindrique que l'on viendrait recharger à chaque voyage à un réservoir établi au voisinage de la place d'accrochage ; la provision d'air du tender devrait être suffisante pour le voyage complet, aller et retour. Des essais dans cette direction ont été faits par MM. Bouchez et Gallez, ingénieu de la Compagnie des Charbonnages belges, à Mons. Ils ont démontré la possibilité de cette combinaison sans exagérer les dimensions des galeries. Néanmoins, jusqu'ici, on a généralement employé dans les mines, au lieu du système des machines locomotives, celui des machines fixes remorquant au moyen de câbles. L'emploi de ces dernières est aujourd'hui fort répandu en Angleterre, notamment dans le bassin de Newcastle. La machine à vapeur est quelquefois au jour, plus souvent au fond, mais à une petite distance du puits, à cause des chaudières. Elle actionne un câble sans fin sur lequel on attache les convois de wagons qui circulent, alternativement pleins et vides, entre le puits et le point où se fait leur répartition entre les divers chantiers d'un quartier déterminé de la mine. Des dispositions très-ingénieuses, décrites par M. Baure dans le *Bulletin de la Société minérale de Saint-Étienne*, permettent de lier le convoi au câble sans fin et de l'en détacher sans avoir besoin d'arrêter la machine, et assurent le bon guidage du câble, même sur les parcours sinueux et dans les coudes brusques. Un semblable système, qui demande des frais d'installation assez considérables, ne devient avantageux que s'il s'agit d'un très-grand parcours et d'un mouvement très-important. Il suppose d'ailleurs une voie dans un état parfait d'entretien, ce qui n'est possible qu'avec des terrains très-solides, comme ceux que l'on trouve dans les bassins houillers de l'Angleterre.

Ce système a été modifié par la compagnie de Sars-Long-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

champ (Belgique), qui expose un dessin, à petite échelle, de l'ensemble des dispositions qu'elle a adoptées et qui ont été imitées par la Compagnie des Charbonnages belges. Le moteur à vapeur, qui ne peut, sans d'assez grands inconvénients ni même sans quelque danger, dans les mines à grisou, être installé avec ses générateurs à l'intérieur des travaux, est placé au jour ; il y est employé à comprimer de l'air à plusieurs atmosphères. Cet air, conduit par une colonne de tuyaux, descend dans le puits et se rend sur les points où il est nécessaire d'avoir une force motrice. Là on le fait agir sur des récepteurs disposés exactement comme des machines à vapeur à haute pression, à détente peu étendue et sans condensation. L'emploi qui en est fait à Sars-Longchamps et aux charbonnages belges consiste à remonter les charbons de certains quartiers exploités en vallées, qui ne pourraient être attaqués par le pied qu'au moyen de galeries à travers des bancs d'une grande longueur et d'approfondissements de puits dispendieux. Ce système, qui ne se recommande pas sans doute au point de vue du bon emploi théorique de la force motrice de la vapeur produite, a des avantages pratiques très-appréciables. Une fois la dépense de premier établissement faite, il donne un moyen facile et pratique de se procurer, par la pose d'une simple ligne de tuyaux, la force motrice dont on peut avoir besoin sur un point donné, soit pour le service d'une vallée, comme il vient d'être dit, soit pour une traction sur niveau, comme en Angleterre, soit encore pour un épuisement intérieur ou pour tout autre usage. L'échappement de l'appareil récepteur contribue à la ventilation et à l'assainissement de la mine. La température en est très-basse, lorsqu'on pousse la détente un peu loin, ce qui est généralement un avantage dans une mine. Il peut même arriver qu'elle détermine la congélation de la vapeur d'eau ambiante, au point d'obstruer l'échappement. Il y a là une difficulté pratique qui limite la détente, si l'on ne prend pas, comme on l'a fait aux charbonnages belges, quelques dispositions pour réchauffer l'appareil de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

distribution et le tuyau de décharge, contrairement à ce que l'on fait sur l'appareil de compression, que l'on cherche à refroidir.

C'est ici le lieu de remarquer que l'on pourra souvent remplacer dans les mines les machines à air comprimé par des récepteurs hydrauliques, notamment par des machines à colonne d'eau. Là où il existe une machine d'épuisement, il suffira de la faire marcher une ou deux heures de plus par jour, ou bien avec un ou deux coups de piston de plus par minute, pour qu'elle élève, dans un réservoir placé au jour, en sus de l'entretien d'eau de la mine, la petite quantité qui pourra être nécessaire journellement pour faire marcher, à haute pression, quelques machines à colonne d'eau rotatives. L'avantage de cette disposition sur l'emploi de l'air comprimé sera de supprimer toute l'installation du compresseur au jour et d'avoir des machines motrices moins volumineuses, à cause de la pression beaucoup plus considérable sous laquelle elles fonctionneront.

En résumé donc, soit par l'emploi de l'air comprimé, soit mieux, peut-être, par l'emploi de l'eau sous de très-hautes chutes, se trouve résolue, pour les mines, la question du transport à grandes distances de la force motrice développée sur un point donné. C'est une solution autre que celle des câbles téléo-dynamique de M. Hirc, qui conviennent parfaitement au jour pour des installations fixes, mais qui s'appliqueraient moins facilement dans les mines, à cause des faibles dimensions des galeries, ainsi que des déplacements assez fréquents que devraient subir les appareils. Du reste, les câbles sans fin dont il a été parlé plus haut ne diffèrent pas essentiellement, comme principe, de ceux de M. Hirc, sauf que la résistance, au lieu d'être appliquée sur l'arbre de la poulie de renvoi, l'est directement sur l'un des brins du câble. Nous allons voir immédiatement quel usage peut être fait de cette force motrice, ainsi susceptible d'être fractionnée et distribuée à volonté. Nous ferons remarquer, en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

passant, que, dans ce cas encore, l'industrie des mines aura eu l'initiative d'un système appelé peut-être, avec le temps, à en recevoir beaucoup d'autres applications, par exemple à transporter et à distribuer *à domicile* de la force motrice, comme on y distribue déjà l'eau, la lumière et la chaleur.

§ 4. — Travaux d'abatage, de havage, de perforation.

Le travail du mineur proprement dit, l'abatage de la roche ou du minerai, semblerait devoir être un travail essentiellement manuel. Comment en effet concevoir des appareils mécaniques assez peu dispendieux pour qu'on puisse les multiplier autant qu'il y a de chantiers dans une mine, assez mobiles pour pouvoir suivre facilement l'avancement journalier du chantier ? Comment surtout concevoir le morcellement d'une force motrice donnée, et sa répartition entre une multitude de chantiers, souvent très-éloignés les uns des autres et qui se déplacent chaque jour ? Aussi, pendant longtemps, cette dernière question n'a-t-elle pas même été abordée, et l'attention s'est-elle seulement portée sur l'invention d'instruments destinés à remplacer les outils simples habituellement employés.

C'est à cet ordre d'idées que se rapportent :

Une espèce de scie circulaire pour le havage de la houille, présentée à l'Exposition Universelle de Londres en 1851 et qui ne paraît pas s'être répandue ; l'appareil Lisbet, proposé pour remplacer, dans le percement des trous des mines, l'action du fleuret par celle d'un forêt ; le cavateur Trouillet, sorte de trépan dilatable, permettant d'élargir le fond des trous de mine, comme M. l'ingénieur Courbebaisse a, depuis longtemps, proposé de le faire dans les roches calcaires au moyen d'un acide ; enfin l'appareil proposé par M. Berrens pour exécuter l'avancement d'une galerie au rocher au moyen d'une rainure circulaire et d'un trou de mine central, et dans lequel l'inventeur a moins cherché à modifier le mode d'action de l'homme qu'à accélérer le travail, en employant un plus grand

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nombre d'hommes à la fois. Les appareils Lisbet, Trouillet et Berrens, figurent à l'Exposition de 1867. Leurs avantages ne sont pas encore parfaitement constatés, et, dans l'immense majorité des cas, on continue de se servir de l'outillage ordinaire, qui varie fort peu d'un pays à l'autre. Les seules particularités à signaler sont la tendance à employer des outils entièrement en acier fondu au lieu d'outils simplement aciérés, et l'emploi, dans quelques cas, de l'électricité développée par les appareils d'induction de M. de Rumpkorff, pour mettre simultanément le feu à une série de coups de mine.

Mais, en dehors de ces tentatives, qui ne se proposent que de mettre entre les mains du mineur un meilleur outillage, il faut citer celles qui ont pour but l'application d'une force motrice nouvelle au travail du chantier, soit action de la vapeur, soit action de l'air comprimé ou d'une chute d'eau. Ces trois modes sont représentés à l'Exposition.

Nous signalerons seulement ceux qui ont plus spécialement attiré l'attention au point de vue de l'exploitation des mines. M. Doëring, de Ruhrort, expose un perforateur pour les trous de mines agissant à la manière d'un fleuret et mû par l'air comprimé. Cet appareil ne diffère pas essentiellement, quant aux principes, d'un des éléments de l'appareil multiple employé par M. Sommellier aux travaux du Mont-Cenis; il est d'ailleurs bien disposé pour une mise en place prompte et facile, quelle que soit l'orientation du trou de mine. Il a été employé avec avantage à la Vieille-Montagne, sinon sous le rapport du coût du mètre courant de galerie, du moins sous celui de la rapidité de l'exécution.

MM. de la Roche-Tolay et Perret exposent, sous le nom de la Compagnie des chemins de fer du Midi, un appareil complet qui a excité vivement l'intérêt. L'ensemble comprend :

1° L'appareil moteur appartenant à M. Perret, qui n'est autre chose qu'une machine à colonne d'eau, très-bien étudiée pour permettre un mouvement de rotation rapide ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° Le perforateur, ou foret, qui reçoit un mouvement de rotation au moyen d'une roue d'angle, en même temps qu'il est appuyé contre la roche à entailler par la pression même de l'eau. Ce perforateur, dont le principe appartient à M. Leschot, est composé d'une bague sur la tranche de laquelle sont sertis des fragments de diamant noir. Son action n'enlève qu'une zone annulaire de la roche et laisse au centre un témoin cylindrique facile à casser. Un courant d'eau arrivant par l'axe de l'outil tient parfaitement décapées les surfaces à attaquer.

Outre leur appareil, MM. de la Roche-Tolay et Perret exposent le dessin d'un chariot pouvant recevoir huit perforateurs, et destiné au percement des grands souterrains de chemins de fer. Ce chariot rappelle ainsi l'*affût* établi par M. Sommellier au mont Cenis. Les différences entre les deux appareils consistent :

1° Dans le moteur, qui est chez l'un l'air comprimé, chez l'autre l'eau en pression ;

2° Dans le perforateur, qui agit chez l'un par percussion, comme le fleuret ordinaire, chez l'autre par rodage.

Le choix du moteur dépend principalement de circonstances locales. Quant aux perforateurs, des expériences comparatives pourraient seules indiquer lequel des deux mérite la préférence. Le second semble avoir l'avantage de ne broyer que la moindre partie de la roche correspondant au trou de mine, ce qui peut faire présumer une économie de force motrice, ou, avec la même force motrice, un percement plus rapide. Les deux appareils dont il vient d'être parlé, et ceux plus ou moins analogues de M. Bergstroem (Suède), de M. le général Haupt (États-Unis), et de M. le capitaine Beaumont (Angleterre), s'appliquent au travail des rochers dures, *attaquables à la poudre*. Deux exposants anglais, MM. Jones et Levick d'une part, Carrett, Marshall et C^ie^ d'autre part, exposent des appareils qui méritent de fixer toute l'attention des ingénieurs, et qui ont pour but de faire mécaniquement le travail de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sous-cave ou du havage, dans les couches de charbon ou autres substances *attaquables au pic*.

La machine Jones et Levick est à air comprimé. L'outil agit comme un pic de mineur. Une disposition très-ingénieuse et très-efficace rend la machine automatique, même lorsque le pic, arrêté par un rognon de pyrite ou de fer carbonaté, ne fournit pas sa course entière. A cet effet un curseur mobile à l'intérieur de la tige creuse du piston, et participant à son mouvement dans le cas ordinaire, achève son extension en vertu de son inertie propre, et agit sur les organes de la distribution lorsque le piston est subitement arrêté par l'obstacle que le pic a rencontré.

La machine Carrett, Marshall et C^ie^, que ses inventeurs désignent sous le nom d'*iron man* (homme de fer), est mue par l'eau. Elle est complétement automatique. L'outil est une sorte de burin qui agit comme dans une machine à mortaiser. Au moment où l'outil fonctionne, la pression de l'eau agit sous un piston qui s'arcboute contre le toit du chantier et empêche le recul de la machine. Pendant le retour de l'outil à vide, ce piston redescend et dégage la machine, qui alors, par une combinaison d'encliquetages, se hâle, sur une chaîne fixée parallèlement au front de taille, de la quantité voulue pour le bon travail d'entaillement de l'outil au coup de piston suivant.

Telles sont, entre plusieurs autres machines actuellement à l'essai en Angleterre, celles qui se sont produites à l'Exposition et qui paraissent être les plus satisfaisantes. Cette question du havage mécanique de la houille est tout à fait à l'ordre du jour en Angleterre ; car sa production s'y accroît de plusieurs millions de tonnes par an, et les propriétaires de houillères cherchent les moyens de parer aux difficultés de main-d'œuvre qui résultent et de cet accroissement et des grèves auxquelles ils sont incessamment exposés. D'ailleurs les conditions de gisement des houillères anglaises se prêtent aussi bien que possible à l'emploi de ces moyens mécaniques.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il faut en effet des couches qui ne soient pas trop minces, et qui aient un assez bon toit et un charbon assez solide pour comporter une exploitation par grandes tailles, sans nécessiter un boisage à front du chantier. Ces conditions seront moins souvent réunies chez nous qu'en Angleterre, et il est permis de craindre que l'usage de ces moyens nouveaux ne puisse s'y répandre autant que dans ce pays. Un premier essai va cependant être tenté par la Compagnie d'Anzin, avec la machine de MM. Jones et Levick. Il sera fort intéressant d'en connaître les résultats. Il est bon d'ajouter que, si les machines à haver ne semblent pas, quant à présent, pouvoir devenir d'un emploi très-général pour l'exploitation de la houille en France, il est d'autres cas où cette application paraît pouvoir être tentée avec chances de succès. On se bornera à signaler ici les grandes exploitations de minerai de fer de la Meurthe et de la Moselle.

CHAPITRE III.

AÉRAGE DES MINES.

La salubrité, souvent même la sécurité d'une grande exploitation reposent essentiellement sur l'établissement d'un bon système de ventilation. Un tel système comprend deux objets entièrement distincts : la production du courant d'air et la distribution du courant produit entre les divers chantiers de la mine. Nous ne nous occuperons point ici du second objet, qui repose sur un ensemble de principes invariables, depuis longtemps établis par M. Combes dans ses Mémoires, devenus classiques, sur l'aérage des mines.

Quant à la production du courant d'air, elle demande, en général, pour une grande exploitation, des moyens artificiels qui sont ou les foyers d'aérage, ou les ventilateurs. L'exposition, très-intéressante à divers points de vue, de la Compagnie d'Anzin présente des modèles en petit d'un foyer d'aérage et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de chacun des trois ventilateurs presque exclusivement employés aujourd'hui, savoir les ventilateurs Fabry, Guibal et Lemielle.

Dans ces dernières années le ventilateur Guibal, qui dérive en ligne directe des appareils du même genre proposés et établis par M. Combes et par M. Letoret, a reçu une nouvelle amélioration, consistant à prolonger l'orifice de sortie ménagé sur le pourtour de l'enveloppe des ailes par une cheminée à section croissante, formant comme une sorte de pavillon de cor ou d'ajutage conique divergent. L'air sortant au pourtour de l'enveloppe diminue de vitesse à mesure qu'il occupe, dans la cheminée, une plus grande section. Il est ainsi lancé dans l'atmosphère avec une moindre force vive, ou bien, ce qui est la même chose sous une autre forme, sa pression augmente à mesure que sa vitesse diminue; et, comme finalement il sort à la pression atmosphérique, la présence de la base dont il s'agit a pour effet de déterminer, devant l'orifice de sortie de l'enveloppe, à l'avantage de la force motrice, une réduction de pression, mesurée théoriquement par la différence entre les deux forces vives de l'air à la sortie de l'enveloppe et à la sortie de la cheminée.

Quant au ventilateur Lemielle, qui se répand beaucoup depuis quelque temps, l'inventeur est parvenu à l'améliorer dans divers détails de construction et à l'établir sur des dimensions telles qu'il suffit pour la ventilation des plus grandes mines. Il constitue ainsi un très-bon appareil, qui se prête facilement au calcul des dimensions à lui donner pour obtenir un courant d'une intensité voulue, et qui a la propriété de ne pas être limité dans la dépression manométrique qu'il peut produire; avantage considérable dans des galeries étroites, et surtout à la suite d'une explosion de grisou ayant pu occasionner des éboulements dans les galeries.

Depuis une vingtaine d'années les machines d'aérage se sont répandues de plus en plus en Belgique et en France, en restreignant l'emploi des foyers. Ce même mouvement com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mence également à se manifester en Angleterre, où, jusqu'à ces dernières années, les foyers avaient été presque exclusivement employés, même dans les plus grandes exploitations. Il est probable que ce mouvement continuera, et que, du moins pour les grandes mines à grisou, les foyers sont appelés à disparaître avec le temps. L'extraction et l'épuisement, la circulation des hommes, le transport intérieur, les travaux d'abatage et enfin l'aérage, dont il vient d'être question dans tout ce qui précède, constituent les services principaux d'une exploitation. C'est sur eux que les moyens mécaniques ont eu et peuvent avoir encore le plus d'influence, pour arriver à produire économiquement en augmentant le plus possible l'effet utile de l'homme. Il reste à examiner quelques points secondaires, pour passer en revue les divers objets compris dans la classe 47 et n'omettre aucune catégorie d'exposants.

CHAPITRE IV.

MODÈLES ET PLANS DE TRAVAUX.

L'Exposition présente, tant dans la section française que dans les sections étrangères, un grand nombre de modèles et de plans généralement fort bien exécutés, mais qui souvent n'ont qu'un intérêt purement local. Dans l'impossibilité de les énumérer tous, nous ne parlerons ici que de ceux qui, soit par le mode de représentation employé, soit par la nature de l'objet représenté, peuvent mériter l'attention générale.

L'exposition prussienne dans son ensemble est, à ce point de vue, très-remarquable, et supérieure à celle de tous les autres pays. On peut y signaler les plans et les coupes détaillées des filons du Hartz, avec des collections d'échantillons parfaitement choisis à l'appui de chaque coupe, ainsi que le système spécial employé pour la représentation en relief du célèbre gisement de Stassfurt.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En Belgique M. l'ingénieur Van Scherpenzeil Thim expose une collection de plans faisant partie du plan général du bassin de Liége, dont il s'occupe depuis plusieurs années. Le mode de représentation adopté n'a rien de nouveau, puisqu'il consiste à définir chaque couche par deux lignes de niveau distantes de 50 m. verticalement ; mais le mode de coloration adopté pour figurer les diverses couches et leur ordre de superposition, et la représentation des failles et autres accidents, donnent à chaque plan un relief tel que toutes les allures des couches, souvent si compliquées, ressortent avec la plus grande clarté et parlent en quelque sorte aux yeux. Des plans exécutés avec une telle perfection graphique pourront être très-utiles à consulter par les exploitants du bassin.

En France nous signalerons l'exposition collective des mines du bassin de la Loire, dans laquelle se trouve, au milieu d'un grand nombre d'objets intéressants, un très-bon modèle en relief du mode d'exploitation avec remblai, généralement employé maintenant dans le bassin de la Loire. On peut le comparer utilement avec ceux de l'exposition prussienne, qui représentent les méthodes d'exploitation sans remblais usitées soit à Sarrebruck, soit dans la Haute-Silésie. Dans l'exposition collective du ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, M. Lescurre expose un plan en relief de la grande couche de Rive-de-Gier, faisant très-bien ressortir son allure si tourmentée.

Enfin la Compagnie de la Grand'Combe, outre divers plans et coupes, expose un modèle en relief de grande dimension présentant la topographie exacte d'une partie de ses concessions, et le système des chemins de fer extérieurs reliant ses principales exploitations à ses ateliers de lavage, de carbonisation et d'agglomération, ainsi qu'aux gares du chemin de fer de Paris à la Méditerranée. Ce système mérite l'attention en ce qu'il renferme la première application qui ait été faite des plans inclinés imaginés par M. Bourdaloue et désignés par lui sous le nom de *bis-automoteurs*. Cette disposition consiste

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

essentiellement à utiliser l'action de la gravité s'exerçant sur les wagons pleins pour remonter les wagons vides, en deux fois, plus haut que le sommet du plan. De cette manière on peut avoir de la mine, à la tête du plan principal, une voie descendante, et, de la tête du plan de retour, à la mine, une autre voie également descendante, de sorte que le trajet complet se fait par l'action seule de la gravité. L'examen du plan en relief montre comment l'idée fondamentale de M. Bourdaloue a été appliquée, en profitant de la disposition des lieux, pour faire en sorte que pour plusieurs mines le même wagon, partant du chantier avec du charbon, y revienne chargé de remblais, après avoir effectué son parcours circulaire entier par la seule action de la gravité. Ce résultat, qui semble paradoxal, réduit au minimum les frais de transport, et utilise, aussi bien que possible, le matériel roulant.

CHAPITRE V.

ACCESSOIRES DE L'EXPLOITATION.

§ 1. — Cages, guides, parachutes, etc.

Nous examinons dans ce paragraphe les cages, guides, parachutes, signaux, appareils de sûreté divers, etc. La Compagnie des mines de Béthune expose un ensemble complet des dispositions adoptées pour ses puits d'extraction, dispositions qui, du reste, ne s'écartent pas des types les plus habituels. Cet ensemble présente une machine d'extraction à deux cylindres verticaux (construite par M. Quillacq), des bobines recevant des câbles plats en aloès ou en fil de fer, des poulies ou molettes à grand diamètre portées sur une charpente en bois, des cages maintenues par un guidage en bois et munies du parachute de M. Jacquet, etc. Le tout n'offre, il est vrai, que les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dispositions ordinaires; mais il a, par cela même, un certain intérêt pour le visiteur, en ce qu'il lui représente l'état actuel de l'art. Il contribue d'ailleurs à donner son cachet caractéristique à la classe 47 de l'Exposition.

L'Exposition renferme un assez grand nombre de parachutes qui, au milieu de la variété qu'ils présentent dans leurs détails, ont toujours, pour caractère commun, de fonctionner par l'action de ressorts qui se détendent lorsque, par une circonstance quelconque, l'effort de traction du câble auquel la cage est suspendue vient à cesser. Cette détente met en action, soit des griffes qui pénètrent dans les guides en bois, soit des galets excentriques qui les embrassent sur deux faces opposées. Parmi ces appareils, ceux qui sont construits en plus grand nombre sont, en France, le parachute de M. Jacquet, et, en Belgique, celui de M. Libotte. Ce dernier exposant produit en outre une cage d'extraction à plusieurs étages, construite en acier, en vue de diminuer, dans une proportion notable, le poids mort suspendu à l'extrémité du câble. M. Gouteaux, constructeur à Charleroi, expose un évite-molettes à sonnerie, qui a pour but d'indiquer aux mécaniciens, à tout instant, la position des cages dans le puits, et d'arrêter leur mouvement en interceptant l'admission de la vapeur, si le mécanicien n'a pas été attentif au signal donné par la sonnerie. Cet appareil existe dans un grand nombre de houillères en Belgique ; il est surtout applicable aux puits dans lesquels la translation des ouvriers s'opère par le câble d'extraction.

L'exposition collective des mines du bassin de la Loire présente un modèle, en petit, très-bien exécuté de l'installation du puits Saint-Louis, appartenant à la société anonyme des houillères de Saint-Étienne, installation où l'on remarque un chevalement construit entièrement en fer. Cette construction offre, sur les piliers en bois, l'avantage d'une durée en quelque sorte indéfinie, tandis que ces piliers se détruisent très-rapidement ; elle permet en outre de donner facilement à l'axe des molettes une hauteur aussi grande qu'on le veut, point

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

important avec la grande vitesse que l'on est conduit à donner aujourd'hui aux cages d'extraction. Cette disposition de chevalement en fer paraît donc appelée à se répandre.

La Compagnie des mines de Douchy (Nord) expose un modèle à petite échelle d'une installation houillère, avec les divers perfectionnements que cette Compagnie a successivement employés dans ses exploitations. Nous signalerons parmi ceux-ci : une sonnerie électrique destinée à mettre en relation les enchaîneurs d'une part avec les receveurs au jour et le mécanicien d'autre part, et un appareil électrique spécial qui permet aux ouvriers, durant la translation par les cages, de communiquer avec le machiniste et de donner au besoin le signal d'arrêt. En outre ce même signal est donné automatiquement toutes les fois que, par un serrage anormal des guides ou par des taquets faits hors de propos aux accrochages supérieurs, la cage descendante, se trouvant arrêtée, met en jeu les ressorts du parachute. Le mouvement produit fait saillir une tige à deux pointes, qui vient s'appuyer sur la surface de deux barreaux en fer appliqués parallèlement aux guides et communiquant avec les deux pôles d'une pile. Le circuit se trouve ainsi instantanément fermé.

MM. Roucayrol et Denayrouze exposent, sous le nom d'appareil plongeur, un appareil qui sera sans doute décrit et apprécié dans une autre classe, son but principal étant l'emploi pour les travaux sous-marins en général, et spécialement pour le nettoyage facile de la carène des navires, le dégagement de l'hélice, etc. Nous le mentionnons cependant ici parce qu'il a d'abord été imaginé et étudié comme moyen de sauvetage dans les mines. A ce point de vue il peut rendre de très-utiles services, et l'on doit le considérer comme le meilleur moyen proposé jusqu'à ce jour pour permettre de pénétrer, de séjourner et de travailler dans un milieu rempli d'une atmosphère irrespirable.

§ 2. — Lampes, mèches de sûreté, etc.

Les lampes de sûreté sont représentées à l'Exposition par un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

assez grand nombre de spécimens, dont la plupart n'offrent aucune nouveauté remarquable et font seulement connaître la fabrication courante de chaque exposant. On se bornera à mentionner ici :

Dans l'exposition française, la lampe de M. Cosset-Dubrulle, disposée de manière à ne pouvoir être ouverte sans avoir été préalablement éteinte ; dans l'exposition belge, celle de M. G. Arnould, faite en vue de l'emploi de l'huile minérale. La substitution à l'huile ordinaire d'une matière à plus bas prix n'est pas sans intérêt dans les mines, car l'éclairage forme un article de dépense assez important dans une exploitation. Nous mentionnerons enfin les mèches ou fusées de sûreté, devenues depuis longtemps d'un usage fort général pour le tirage des coups de mine. L'exposition française présente les produits de la maison Bickford, Davey, Chanu et C^ie^, de Rouen, fondatrice de cette industrie en France, et ceux de la maison Hawke, Martin et C^ie^, de Vienne.

Les prix de ces fusées ont beaucoup diminué dans ces dernières années. Ces prix, qui étaient primitivement de 0 fr. 10 le mètre courant pour les fusées ordinaires, et de 0 fr. 15 pour les fusées imperméables propres au tirage sous l'eau, ne sont plus aujourd'hui que de 0 fr. 05 et 0 fr. 06.

CHAPITRE VI.

DISPOSITIONS EXTÉRIEURES.

—

§ 1. — Appareils de déchargement et d'emmagasinement.

La quantité de matière qui arrive au jour, dans une mine activement exploitée, est très-considérable. On cite des mines de houille à Newcastle qui extraient 800 à 900 tonnes et plus par jour, et en un seul poste de 12 à 14 heures. Les sorties

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de 400 à 500 tonnes ne sont pas rares et tendent chaque jour à se multiplier. Pour qu'elles soient possibles, il faut non-seulement un système d'extraction très-bien organisé au point de vue de la machine d'extraction et de l'habillage du puits proprement dit, mais encore des dispositions extérieures appropriées, qui permettent de manœuvrer rapidement les chariots et de dégager les abords du puits au fur et à mesure que la sortie s'effectue. Il faut d'ailleurs prévoir, en prenant ces dispositions, si les produits s'écouleront immédiatement au loin ou s'ils seront emmagasinés aux abords du puits, s'ils seront livrés tels qu'ils sortent de la mine, ou s'ils devront subir des triages ou des classements.

L'ensemble des installations extérieures se compose essentiellement en général :

1° D'un système de balances destinées à ramener au même niveau les wagons extraits des divers étages de la cage d'extraction, soit en une seule manœuvre, soit en deux manœuvres au plus; 2° d'un réseau de voies ferrées ou d'un système de dallage en fonte ou en tôle, sur lequel circulent les wagons; 3° d'une série de culbuteurs, soit fixes, soit mobiles, au moyen desquels se vident ces mêmes wagons par une manœuvre prompte et facile; 4° enfin d'une série de grilles, de trémies ou d'aires, disposées, soit pour laisser passer, soit pour emmagasiner et trier, avant l'expédition, les produits de l'exploitation.

Les expositions déjà citées de Douchy, d'Anzin et du comité des houillères de la Loire, et celle de la Compagnie de Blanzy présentent des exemples fort intéressants de ces dispositions. Une bonne organisation extérieure est importante surtout pour les matières encombrantes et de peu de valeur comme la houille. On doit se préoccuper d'économiser sur la main-d'œuvre des manutentions, et en même temps de faire le meilleur triage et d'obtenir le plus de gros possible. Ces conditions peuvent être, jusqu'à un certain point, contradictoires ; aussi les installations doivent-elles varier selon le taux de la main-d'œuvre, la dureté et la propreté plus ou moins grandes des houilles exploitées

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et la différence entre le prix de vente du gros et celui du menu. Telles circonstances comportent des manipulations sommaires, telles autres peuvent demander de grands frais de main-d'œuvre. Une disposition donnée ne peut donc être appréciée qu'en ayant égard aux circonstances locales.

§ 2. — Appareils de lavage et d'agglomération des combustibles minéraux.

Dans les bassins houillers qui fournissent un combustible ayant une teneur normale en cendres assez faible, et où, en même temps, il y a peu de schistes intercalés au milieu de la couche, où les roches encaissantes sont solides, où enfin les ouvriers mineurs ont de bonnes habitudes de travail, il arrive que le charbon sort de la mine assez propre pour être livré tel quel à la consommation, ou simplement après une classification de grosseur. Ce cas est fréquent en Angleterre, c'est pour ainsi dire la règle, tandis que c'est l'exception en France.

Aussi est-ce en France que l'épuration de la houille par le lavage a pris naissance, soit à cause de la moindre qualité des houilles brutes livrées par les mines, soit peut-être encore parce que l'avantage de la pureté a été mieux apprécié par le consommateur. Les premiers essais de lavage remontent à une trentaine d'années et ont été faits à Saint-Étienne. Aujourd'hui c'est à des centaines de mille tonnes que s'applique cette opération devenue tout à fait courante pour le charbon employé à la fabrication des briquettes et du coke, et même pour des menus consommés en nature. Le calcul le plus simple montre que le consommateur a intérêt à payer les frais de cette opération lorsque le combustible qu'il consomme est à un prix élevé ; il y a d'ailleurs telles opérations qui demandent impérieusement un combustible ayant une teneur en cendres modérée.

Les appareils employés pour le lavage de la houille ont reçu des dispositions très-variées dans le détail ; mais la plu-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

part d'entre eux ont un principe commun, celui du crible à piston, appareil bien connu, dans lequel, par suite des secousses imprimées à la matière en traitement, celle-ci se dépose en couches distinctes, superposées par ordre de densité, les matières étrangères (pyrites, schistes, fer carbonaté) reposant sur la grille, et la houille pure occupant la partie supérieure du dépôt.

La Compagnie de la Chazotte expose le modèle en petit, parfaitement exécuté, d'un nouveau système de lavoir projeté et construit par l'ingénieur de cette Compagnie, M. Max Évrard. Cet appareil est remarquable par sa grande dimension, sa puissance de production, son automatisation complète, et la facilité qu'il offre pour classer en plusieurs catégories de pureté différentes les produits du lavage. Il mérite d'être étudié, bien que son prix d'établissement élevé et peut-être aussi son degré de complication semblent devoir l'empêcher de se répandre beaucoup.

Peut-être préférera-t-on à un grand appareil unique une série d'appareils plus simples, pouvant être individuellement réparés sans entraîner le chômage de tout un atelier. Les appareils établis à la Grand'Combe, figurés dans l'Album exposé par cette Compagnie, avec leurs mécanismes pour donner les secousses au piston et pour enlever les produits du lavage, sont le résultat de longues recherches, poussées avec beaucoup de suite et de persévérance par M. Graffin, directeur de l'exploitation. Ils constituent un système très-recommandable, avec lequel on obtient des produits d'une très-grande régularité.

Il arrive que, après le lavage, les charbons imprégnés d'eau peuvent avoir besoin d'être séchés. On emploie à cet effet des aires chauffées. On peut aussi employer des essoreuses à force centrifuge, appareil usité, comme l'on sait, dans une foule d'industries. C'est ici le lieu de signaler l'essoreuse spéciale imaginée par MM. Hanrez et C^ie^, Belgique, qui, par une combinaison ingénieuse, est devenue un appareil continu, condition

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui semble indispensable si l'on veut obtenir un débit d'une certaine importance, comme il le faut lorsqu'on opère sur des masses de charbon. Quant à l'agglomération, elle est, comme le lavage, une industrie essentiellement française d'origine. C'est également dans le bassin de Saint-Étienne qu'elle a commencé à être mise en pratique. Le premier brevet a été pris en 1833 par M. Marsais, et la première usine établie par lui à Givors. Cette usine appartient aujourd'hui à la Société des houillères de Saint-Étienne; elle a été successivement développée et améliorée par M. Bayle, directeur de cette Société. L'agglomération y est obtenue au moyen de la presse hydraulique. C'est ce même mode de compression qu'emploie M. Révolier, constructeur à Saint-Étienne, inventeur d'appareils qui fonctionnent avec succès à Blanzy et à Anzin. On doit encore citer, parmi les systèmes les plus employés, la machine de M. Marc Évrard, qui en expose un modèle parfaitement exécuté, à côté de son lavoir dont il a été parlé plus haut, et enfin la machine de M. Mazeline.

Ces divers systèmes, entre lesquels la pratique n'a pas encore prononcé d'une manière définitive, pourraient peut-être être caractérisés comme il suit : la machine Révolier serait celle qui donnerait les agglomérés les plus solides, la lenteur de la compression paraissant en augmenter l'efficacité; mais elle entraînerait la plus grande dépense de premier établissement pour une production journalière donnée. A ce dernier point de vue la machine Mazeline serait la plus avantageuse; elle donnerait lieu d'ailleurs à une consommation de brai un peu moindre que la machine Évrard.

La fabrication des agglomérés a pris aujourd'hui une assez grande importance en France et en Belgique; mais elle est naturellement limitée par la quantité de brai disponible, et cette quantité ne croît qu'assez lentement, avec le développement de l'éclairage au gaz.

La découverte d'une autre matière agglomérante est aujourd'hui le grand *désidératum* de cette fabrication, dont les pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

duits sont recherchés par les chemins de fer et la navigation à vapeur, mais qui restent nécessairement limités.

§ 3. — Préparation mécanique des minerais.

On entend en général par préparation mécanique des minerais l'ensemble des opérations que subissent ces minerais, depuis leur sortie de la mine, jusqu'à l'instant où les matières convenablement épurées sont livrées aux opérations métallurgiques. Ces opérations, souvent fort complexes et employant une très-grande variété d'appareils, dont la description spéciale ne saurait saurait trouver place ici, comprennent en général :

1° La préparation à la main, consistant en une série de concassages et de triages exécutés sur tous les fragments assez volumineux pour qu'on puisse les manier individuellement ; 2° le travail du crible à secousse, applicable aux matières grenues ; 3° enfin le travail du lavage sur les tables, applicable aux matières ténues, depuis les grains trop menus pour le crible à secousses jusqu'aux schlamms les plus fins. Abstraction faite des frais de main-d'œuvre et considérant seulement la perfection théorique des procédés, on serait conduit à dire qu'on ne saurait trop étendre le domaine des deux premières catégories d'opération, surtout de la première, et restreindre le domaine de la troisième. Mais, ainsi que nous l'avons déjà dit, la question de la main-d'œuvre ne saurait être négligée ; elle s'impose au contraire de plus en plus chaque jour. La solution à rechercher doit donc être une sorte de compromis entre le système qui aspire au minimun de déchet, en s'imposant une lourde dépense de main-d'œuvre, et celui qui se préoccupe de réduire au minimun la main-d'œuvre et le capital roulant, en opérant d'une manière plus sommaire et plus rapide. C'est dans cet ordre d'idées que, dans ces derniers temps, on s'est attaché : 1° à diminuer la main-d'œuvre par la généralisation des moyens mécaniques ; 2° à construire des appareils simples, expéditifs, à grande production ; 3° à rendre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces appareils autant que possible automatiques dans leur alimentation, en étageant les divers appareils de telle façon que les produits intermédiaires de chacun d'eux se rendent d'eux-mêmes à l'appareil suivant, qui doit en continuer l'élaboration; 4° enfin, comme conséquence de la solidarité établie entre les divers appareils, à rendre aussi régulière que possible la marche de chacun d'eux, en introduisant dans leur installation, restée jusqu'ici généralement trop primitive, les matériaux et les procédés des bonnes constructions mécaniques.

Le visiteur a pu reconnaître, nous le pensons, les caractères que nous venons d'indiquer en examinant l'exposition de M. Rittinger (Autriche) et celles de la Compagnie de Fives-Lille et de MM. Huet et Geyler (France).

M. Rittinger, officier supérieur de l'administration des Mines, en Autriche, a été l'un des promoteurs les plus influents du perfectionnement qu'a reçu, depuis vingt ans, la préparation mécanique en Allemagne. Il expose un atlas qui donne la situation actuelle de l'art dans ce pays, et qui représente un grand nombre d'appareils projetés par l'auteur même et exécutés sous sa direction. Cet atlas sera consulté utilement par toutes les personnes qui s'intéressent à l'art des mines.

La Compagnie de Fives-Lille et MM. Huet et Geyler exposent, à l'état de mouvement, mais fonctionnant à vide, une série complète d'appareils de préparation mécanique, depuis le concasseur américain jusqu'à une table de Brunton à secousses. Ces exposants ne revendiquent point comme leur appartenant, les principes de ces divers appareils: concasseur, cylindres broyeurs, trommels, cribles à pistons, tables tournantes, etc.; mais on doit remarquer et signaler dans leurs expositions : 1° le mode de construction avec emploi presque exclusif du métal, mode qui permet des assemblages plus soignés, et qui donne des instruments plus précis et à marche plus rapide et plus sûre qu'avec l'emploi trop étendu du bois; 2° l'adoption des appareils, tels que le concasseur américain, les cribles continus, etc., qui suppriment ou réduisent, dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une forte proportion, les frais de main-d'œuvre. Enfin on ne doit pas moins signaler le fait même de la création en France, dans un grand établissement de construction, d'une division spéciale pour l'établissement des appareils de préparation mécanique, analogue aux ateliers qui existent en Allemagne. Cette création est de nature à aider au développement de l'industrie des mines métalliques, en France et dans d'autres pays, et, sous ce rapport, elle mérite d'être signalée à toutes les personnes qui s'intéressent à cette industrie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VI

PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES

PAR M. LAN.

Le matériel métallurgique, de sa nature, se prête mal aux Expositions, et les merveilles de mise en œuvre qui, dans plusieurs autres sections, impriment à l'Exposition universelle de 1867 un cachet si neuf et si original, étaient impossibles ici. Comment y faire fonctionner des procédés fondés sur l'emploi des plus hautes températures, souvent des plus puissantes machines, presque toujours d'un personnel considérable? Aussi ne voit-on guère, dans la classe 47, que quelques modèles de lavoirs, fourneaux, machines motrices, soufflerie, laminoirs, etc.; certains constructeurs seuls ont fait exception, en exposant, comme la société de Seraing, une installation complète de soufflerie pour hauts-fourneaux; comme MM. Farcot et ses fils, Schmerber et autres, des pilons, marteaux ou martinets prêts au travail; mais, en somme, la représentation de l'art métallurgique est là fort incomplète, et, si l'on veut se faire une juste idée de ses progrès, il faut, à côté des objets exposés dans la classe 47, examiner les magnifiques collections de produits de la classe 40. Pour ne citer que la section la plus importante, la plus brillante en même temps, l'industrie sidérurgique, avec ses fontes, aciers et fers de toutes qualités, avec ses produits de dimensions toujours croissantes, tôles, blindages, fers profilés, etc., — l'industrie sidérurgique montre quel chemin a fait la métallurgie à la fois

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comme application pratique, courante, des connaissances physiques et chimiques qui en sont la base, — comme hardiesse dans les moyens d'exécution, — et comme puissance dans les installations. Les résultats accusés là sont plus frappants encore si l'on considère que, pour bon nombre de produits, notamment pour les aciers et pour les fontes et fers de qualité, ces progrès techniques ont été la cause principale d'importantes baisses de prix.

CHAPITRE I.

PROCÉDÉS DE LA MÉTALLURGIE GÉNÉRALE.

---

§ 1. — Préparation des combustibles.

La préparation des combustibles est un premier point à signaler parmi les progrès de la métallurgie générale. Nous ne reviendrons pas ici sur ce qui a été dit précédemment des ateliers de préparation mécanique en général et des procédés de lavage des combustibles, comme des minerais de toute sorte.

Nous ne voulons rappeler qu'un fait, à savoir : que les combustibles minéraux prenant chaque jour une part plus grande dans l'alimentation des foyers métallurgiques, il devenait indispensable de les classer, trier, nettoyer et laver, si l'on voulait s'assurer, dans tous les cas, les moyens de produire régulièrement et économiquement les hautes températures ; si l'on voulait surtout éviter l'influence nuisible de certains éléments de ces combustibles, lorsqu'ils doivent être employés au contact des matières en élaboration. Ainsi s'explique la généralisation rapide du lavage des houilles, qui, il y a douze ou quinze ans, était exclusivement usité dans la fabrication du coke de chemins de fer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

C'est encore à l'industrie des chemins de fer, en même temps qu'à celle de la navigation à vapeur, que sont dus les agglomérés de menue houille, forme sous laquelle bon nombre de combustibles, aujourd'hui sans emploi en métallurgie, y deviendraient applicables si les frais d'agglomération, particulièrement le prix de la matière agglomérante, n'étaient aussi élevés (1). Malheureusement, toutes les tentatives faites jusqu'ici pour tourner cette difficulté ont échoué ; passant sous silence les nombreuses recettes proposées pour substituer au brai une matière agglomérante plus économique, nous citerons particulièrement les essais d'agglomération par ramollissement de houilles grasses préalablement mélangées ou non à des charbons maigres ou anthraciteux. On n'a pas jusqu'ici trouvé le moyen pratique de limiter l'action de la chaleur de façon à assurer l'agglomération sans carboniser de semblables mélanges.

Le principe de ces mélanges de combustibles était d'application beaucoup plus facile dans la fabrication du coke ; complété surtout par le lavage et la pulvérisation préalables des charbons, ce procédé est appelé à rendre de véritables services dans les contrées dépourvues de houilles grasses.

Ajoutons, au sujet de la fabrication du coke, qu'elle n'a pas seulement progressé par les soins du triage, du lavage et de l'assortiment des houilles à carboniser. Les procédés mêmes de carbonisation ont fait de grands pas vers l'amélioration du rendement et de la qualité. La carbonisation à vase clos, les produits de la distillation fournissant la chaleur nécessaire dans des fours à parois creuses, s'est généralement substituée aux anciens procédés de cuisson à l'air, en stalles ou dans les fours à parois pleines. Les fours Appolt, pour les houilles ou mélanges relativement maigres, les fours Smet ou autres semblables, pour les charbons plus gras et gonflants, ont remplacé et remplacent progressivement les anciens fours

(1) Voir le rapport de M. Fuchs (classe 40, section II).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à boulanger, les frais plus élevés de la construction, surtout dans le premier de ces types nouveaux, étant rapidement compensés par l'économie du rendement, sans que la pratique ait justifié les craintes manifestées dès le début à l'égard de la durée de ces appareils nécessairement un peu compliqués.

Les débouchés nouveaux offerts par la teinture aux produits dérivés de la houille ont beaucoup facilité la reprise, avec perfectionnement, du procédé de carbonisation à four clos, qui consiste à recueillir, par condensation, une partie des produits volatils, en ne renvoyant dans les carneaux qui enveloppent les fours que les gaz proprement dits. Indépendamment des complications inévitables de ce système, on pouvait craindre qu'en voulant trop faire il ne sacrifiât la qualité des divers produits à obtenir. Il paraît cependant qu'avec certaines natures de houille (notamment avec les houilles de la Loire) on obtient à la fois du bon coke et un rendement satisfaisant en produits secondaires.

Nous n'avons, jusqu'ici, considéré que les combustibles minéraux proprement dits, houilles et anthracites ; mais les tourbes ont été, depuis dix ou douze ans, l'objet de nombreux essais, dans le but, soit de les purifier, soit de les carboniser après compression et lavage. Comme pour les houilles, en combinant des appareils broyeurs ou diviseurs convenables avec un système approprié de lavage et débourbage, on est parvenu, dans certains districts tourbeux d'Allemagne, à préparer une pâte facile à comprimer et à sécher, où la fibre combustible se trouve condensée et dépouillée des matières terreuses et des pyrites trop souvent mélangées aux tourbes. Mais, tout en améliorant cette variété de combustible, tout en lui donnant par la compression et le séchage une densité relativement élevée, on n'est qu'imparfaitement parvenu à en faire un aliment convenable des hautes températures métallurgiques. La tourbe améliorée, comme la plupart des lignites et des bois, ne trouve application dans ces emplois spéciaux que grâce aux progrès des fours à gaz, auxquels conviennent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tout particulièrement ces combustibles légers et très-oxygénés.

Avant d'arriver à cet autre progrès de la métallurgie générale, terminons sur les combustibles en faisant observer que les procédés de carbonisation du bois, tourbes et lignites, restent stationnaires. Et cependant que d'efforts à ce sujet depuis vingt ou vingt-cinq ans ! Et que d'inventeurs encore attachés à ces problèmes, qui oublient trop souvent les difficultés des installations fixes et compliquées pour des approvisionnements variant chaque jour de position, comme ceux des forêts; qui oublient surtout et toujours que tel système qui, appliqué sous les yeux et par les soins de l'inventeur, accroît le rendement en charbon de quelques centièmes, perd tous ses avantages, si même il ne devient onéreux, lorsque la carbonisation de ces combustibles légers, poreux et friables, est confiée à des ouvriers et pratiquée par grandes masses.

§ 2. — Fours Siemens.

Nous disions, il y a un instant, que les fours à gaz avaient fait de grands progrès depuis quelques années; il est certain que le problème de la production des hautes températures à l'aide de gazogènes a enfin trouvé une solution véritablement pratique dans le type de four dit à chaleur régénérée, de M. Siemens. Les nombreuses tentatives faites en tous pays et depuis vingt ans n'avaient abouti jusque-là qu'à des applications locales et assez restreintes de ce mode d'emploi de combustibles. On y avait renoncé, tantôt, parce que, fondés sur l'emploi de l'air forcé, les gazogènes, surtout les gazogènes au combustible minéral, devenaient des appareils d'un prix assez élevé, d'un fonctionnement pénible, où le nettoyage était extrêmement difficile ; tantôt parce qu'avec cette sorte de générateurs soufflés on n'avait pas réussi à utiliser les charbons menus, fonds de halle ou autres déchets, pour lesquels semblait surtout fait le procédé.

En Allemagne, on avait, de bonne heure, reconnu les incon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vénients des générateurs à vent forcé, et, renonçant le plus souvent aux gazogènes séparés des fours qu'ils devaient alimenter, on y était revenu au courant d'air naturel ou tout au moins au soufflage à faible pression sous la grille de la chauffe, et les chauffes mêmes des réverbères métallurgiques étaient devenues les générateurs de gaz : quelque chose d'analogue, en un mot, aux dispositifs simples et ingénieux usités depuis longtemps chez les fondeurs de cuivre du pays de Galles. — La grille à gradins avait complété cette formule bien simple et l'avait rendue applicable aux combustibles les plus menus. Dans ces diverses combinaisons d'appareils on employait l'air chaud, quelquefois déjà dans les générateurs, mais toujours ou presque toujours pour brûler le gaz, moyen parfaitement compris, dès le début de ces procédés, de réaliser de hautes températures. Mais le chauffage préalable de l'air ne pouvant se faire que dans les tuyaux chauffés à flamme perdue, quand il s'agissait de fours à vent forcé, ou par circulation le long des parois chaudes avec le tirage naturel, il était difficile, d'une part, d'atteindre un haut degré thermométrique, et, d'autre part, malgré une complication de tuyaux souvent gênante, de tirer des chaleurs perdues le meilleur parti possible. Tel était l'état de la question lorsque M. Siemens proposa la combinaison suivante. Séparant le gazogène des fours proprement dits, il le dispose sous forme d'une simple cuve, avec grille inclinée, à gradins si besoin est, où l'air est appelé par le tirage naturel d'une cheminée qui suit le ou les fours alimentés. Les gaz brûlés quittent la sole des fours, et, avant de gagner la cheminée, circulent en deux courants à travers deux séries de carneaux en briques réfractaires, qui se trouvent ainsi rapidement portés à la température même de la sole. Après un temps convenable, cette circulation est interrompue ou renversée; là où passaient les flammes ou gaz brûlés, des conduits amènent isolément les gaz neufs venant du générateur et l'air destiné à les brûler, et les flammes sont appelées à travers deux autres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

séries de carneaux destinées à jouer le même rôle que les premières, rôle alternatif consistant à prendre la chaleur aux gaz brûlés pendant une période, et à la rendre également pendant la suivante à l'air et aux gaz neufs qui vont la reporter ou la régénérer sur la sole du four. — Du même coup l'inventeur résolvait : 1° la question de gazéification des combustibles par les moyens les plus simples, les moins coûteux et les plus propres à l'utilisation de n'importe quel combustible ; 2° le problème, chaque jour plus important pour la métallurgie, pour la sidérurgie surtout, de l'obtention économique des plus hautes températures, sans aucune complication d'appareils.

Le principe de la régénération de la chaleur par les parois des conduits joignant le four et la cheminée serait d'ailleurs parfaitement applicable au cas de gazogènes à vent forcé, établis à la façon, par exemple, de grands cubilots ou même de hauts-fourneaux et placés à portée de batteries de réverbères qu'ils alimenteraient de gaz (1).

Nous avons beaucoup insisté sur le four Siemens, par la double raison que, connu à l'époque de l'Exposition Universelle de Londres (1862), il n'était pas encore alors répandu comme il commence à l'être aujourd'hui, et que c'est le seul progrès important à signaler dans cette partie de la métallurgie générale qui s'occupe de la production de la chaleur et du meilleur emploi possible des combustibles. Il est cependant un côté de la question des fourneaux métallurgiques que la construction des fours Siemens et la solidité qu'ils exigent rappellent à l'attention des métallurgistes; nous voulons parler

(1) Une des plus intéressantes applications du four Siemens a été faite en Suède. A l'aide d'une modification dans le gazogène, M. Lundin, ingénieur suédois, est parvenu à l'alimenter régulièremont de sciure de bois qu'il gazéifie comme un combustible ordinaire; seulement, la sciure étant toujours fort humide, les gaz sont très-chargés de vapeur d'eau; l'inventeur les fait passer dans un appareil à eau qui condense la vapeur, et les gaz ainsi dépouillés sont réchauffés au régénérateur Siemens avant de brûler sur la sole d'un réverbère, où ils peuvent produire toutes les températures qu'on désire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la préparation des matériaux réfractaires. Les diverses galeries des classes 40 et 47, et encore celles des classes 51 et 65, offrent des collections très-intéressantes de matériaux réfractaires, naturels ou artificiels; mais il n'est pas sûr que, en France du moins, les progrès de cette branche d'industrie suivent bien ceux de la métallurgie. Il semble pourtant que les indications fournies par la chimie sur la réfractabilité de certaines terres, comme l'alumine et la chaux, et de certains de leurs composés, d'une part, — les progrès de la fabrication industrielle de ces bases à l'état de pureté, de l'autre, — enfin la perfection et l'économie des moyens de division, de mélange et de cuisson aujourd'hui connus, — devraient assurer la fabrication de matériaux artificiels plus homogènes, plus constants et plus sûrs comme composition et qualité, que la plupart de ceux livrés jusqu'ici aux ateliers métallurgiques.

Il est un dernier point de la métallurgie générale, les machines soufflantes, dont nous devrions peut-être dire ici quelques mots, mais, les perfectionnements qui s'y rattachent ayant bien plus spécialement pour but la métallurgie du fer que celle des autres métaux; il en sera donc question dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II.

PROCÉDÉS DE LA MÉTALLURGIE DU FER.

§ 1. — Préparation de la matière.

Dès le premier pas de la fabrication du fer, nous retrouvons les soins de triage et le classement des matières à mettre en œuvre, que nous avons déjà signalés comme un trait caractéristique des voies actuelles de la métallurgie. Certainement, par le passé, les fabricants jaloux de leur réputation cher-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chaient déjà dans un bon choix de matières premières et dans l'excellence du premier produit sidérurgique, dans l'excellence de la fonte, la garantie de la qualité dans les produits définitifs, aciers ou fer. Mais les moyens dont on disposait à cet égard étaient beaucoup plus limités qu'aujourd'hui ; les difficultés de transport ne permettaient pas, comme maintenant, d'aller chercher au loin des minerais de choix capables de modifier, d'améliorer d'une façon souvent radicale la qualité des minerais de pays. Réduit sous ce rapport aux ressources locales, on ne voyait guère qu'un moyen d'assurer le résultat désiré, à savoir la fusion au charbon de bois. Des fontes au bois, destinées à être employées seules ou en mélanges avec des fontes au coke, telle était, il n'y a pas longtemps, telle est encore même, dans quelques contrées, la formule à laquelle on demandait des produits de qualité à prix réduits. Il faut bien observer, en second lieu, qu'on ne connaissait pas aussi bien qu'aujourd'hui l'influence exacte des divers éléments de la fonte sur la marche et le résultat de l'affinage, qu'on ignorait encore l'action épurante que certains de ces éléments exercent pendant le travail même du haut fourneau. Les progrès des méthodes d'affinage ont ainsi réagi sur la fabrication de la fonte de deux façons, en montrant :

1° Quelle est la meilleure composition de fonte pour chaque sorte d'affinage;

2° Que, dans beaucoup de cas, les fontes obtenues de dosages bien étudiés, avec des cokes lavés, remplacent les fontes au bois (pour le moulage, d'ailleurs, comme pour l'affinage). Il semble également établi que, toutes choses égales d'ailleurs, une fonte composée directement au haut fourneau par l'assortiment de minerais déterminés vaut mieux que le mélange ultérieur, dans l'appareil d'affinage, des fontes produites isolément avec chacun des minerais.

Enfin quelques essais de reproduction artificielle de certains minerais réputés pour la qualité de leurs fontes ont été faits. Au lieu de jeter dans le haut fourneau les divers éléments propres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à assurer cette qualité, sous forme de fragments plus ou moins gros, on broie finement les matières du dosage, on les mélange mécaniquement avec de la chaux éteinte, et le tout est soumis à l'action d'une machine à agglomérer. On obtient ainsi un minerai artificiel fusible par lui-même, et où les réactifs épurants sont en contact avec le métal à purifier ou à protéger contre des influences nuisibles comme celles de la colonne gazeuse d'un haut fourneau au coke. L'expérience de ce procédé n'est point encore assez avancée pour pouvoir rien en conclure; mais son principe répond trop bien au courant d'idées qui règne chez les fabricants de fontes pour qu'on ne puisse s'attendre à le voir appliquer d'un jour à l'autre. Ici, comme dans le cas des agglomérés de houille, le bénéfice à l'emploi compenserait très-probablement les dépenses d'agglomération.

Le procédé de moulage en briquettes avait été essayé autrefois, mais sans agglomération et pour un tout autre résultat; pour faciliter la révivification des scories de forges, on les avait broyées, puis mélangées avec de la chaux et du menu charbon. Cet essai, assez longtemps poursuivi, ne donna pas le résultat espéré. On a repris récemment la même question en incorporant les scories de forge, préalablement pulvérisées, dans de la houille menue suffisamment grasse et en carbonisant ce mélange. On espère par là activer la réduction des scories dans le haut fourneau; en même temps on prétend que, pendant la carbonisation, les hydrogènes carbonés de la houille dépouillent les scories de leur soufre et de leur phosphore. En admettant que ces aperçus fussent exacts, il est un premier fait qu'au point de vue économique il importerait de vérifier : quelle proportion de scories pourrait-on ainsi incorporer au coke sans diminuer la qualité de celui-ci? Le procédé suppose, d'ailleurs, qu'on fait le coke avec des houilles suffisamment grasses et à proximité des forges, circonstances qui sont loin d'être le cas général.

Les améliorations et recherches dont il a été question ci-dessus ont trait à la qualité de la fonte : sous le rapport économique, à part le progrès dû à la différence de prix des matières

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

employées, nous trouvons peu de chose pour la période qui sépare l'Exposition de 1867 de celle de 1862. Les fortes productions de certains hauts fourneaux anglais, dont l'attention publique avait été frappée déjà en 1862, ne se sont pas généralisées sur le continent, non plus que dans les autres districts métallurgiques de la Grande-Bretagne : c'est qu'il ne suffit pas pour cela d'agrandir les hauts fourneaux et d'accroître les moyens de soufflage, lors même que ces changements radicaux sont possibles; il faut encore des minerais ou des dosages suffisamment fusibles, surtout réductibles et purs pour permettre cette rapidité d'allures. Néanmoins, la production moyenne journalière des hauts fourneaux au coke s'est certainement développé depuis une dizaine d'années en France, en Belgique et en Allemagne; les chiffres de 40 à 45 tonnes par jour en fonte d'affinage et de 30 à 35 tonnes en moulages ne sont plus rares aujourd'hui dans les usines de souffleries bien montées.

La construction des soufflets de hauts fourneaux a reçu, depuis une dizaine d'années, d'importants perfectionnements. Aux anciennes machines à balanciers, aux machines horizontales à transmissions plus ou moins compliquées ont succédé les grandes souffleries verticales à action directe comme celles dont le Creuzot, en France, a exposé un dessin, et Seraing, en Belgique, une installation complète en fonctionnement. Déjà le second de ces établissements a construit depuis dix ans plus de quarante machines sur le type qu'il a exposé, c'est-à-dire des machines à un ou deux cylindres de Woolf, à diamètres de piston soufflant (de 2^m60 à 2^m75) et à courses énormes (de 2^m40 à 2^m50). — Le constructeur n'hésiterait même pas à atteindre 3 mètres et plus. — Chacun, par un examen rapide de ces machines, peut apprécier immédiatement certains de leurs avantages : peu d'espace occupé, réduction du nombre des organes, simplification des fondations, bonne application ou répartition des efforts; d'ailleurs les certificats émanant des consommateurs eux-mêmes prouvent, en outre, qu'en marche (et, pour l'une d'elles, depuis neuf ans) elles donnent toute satisfaction,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ne réclamant que peu de frais de graissage et d'entretien, et rendant en travail utile 75, 76 et 77 pour 100 du travail brut de la vapeur.

A côté de ce progrès réel dans les installations de hauts fourneaux et les accessoires, il n'y a plus rien à citer de bien saillant. Quelques dispositifs plus ou moins nouveaux pour prises de gaz, pour distribution de charges au gueulard des hauts fourneaux, et c'est tout.

§ 2. — Procédés d'affinage.

Arrivons aux procédés d'affinage pour fer et pour acier : c'est le champ où l'esprit d'invention et de progrès a montré le plus d'activité depuis quinze ou vingt ans. Tandis que la plupart des forges d'Angleterre, de Belgique et de France ne demandaient à l'affinage à la houille, au puddlage que des abaissements répétés des frais de fabrication, trop souvent au mépris même de la qualité, les métallurgistes allemands, observateurs attentifs des détails d'une opération si facile à suivre sur la sole du four à puddler, apprenaient à la conduire comme une préparation chimique et à en modifier les résultats par l'addition des réactifs convenables. Le four bouillant, imaginé vers 1840 pour puddler sans mazéage préalable, contribua beaucoup aux premiers succès de ces recherches : appliqué au travail de bonnes fontes brutes au bois, il permit de produire aisément les premiers fers à grain; aidé des additions essayées en Allemagne, entre autres de la poudre saline et manganésée du docteur Schaffeüthl, on entrevit la possibilité d'y obtenir les mêmes produits de fontes plus médiocres et même de certaines fontes au coke. Bref, ces essais, poursuivis pendant toute la période de 1840 à 1850, aboutissaient en Westphalie vers l'époque de la première Exposition universelle, à la fabrication pratique de l'acier puddlé : déjà, lors de l'Exposition universelle de 1855, on pût mesurer, par les collections des forges allemandes et de quelques établissements belges et français, l'étendue du progrès

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans la fabrication et dans l'emploi des aciers naturels à la houille. Une autre surprise attendait les visiteurs de l'Exposition de 1855 ; ils y virent, pour la première fois, l'acier fondu par masses jusque-là inconnues, appliqué à des usages tout nouveaux (cloches, arbres, essieux, roues, etc.), et les objets les plus curieux, sous ce rapport, venaient encore des mêmes provinces d'Allemagne ! C'est que, une fois maîtres d'un procédé qui livrait à volonté de l'acier naturel, dur ou doux, ou du fer à grain, et non plus par masses restreintes comme les anciens foyers au charbon de bois, mais par quantités, pour ainsi dire indéfinies, on avait vite reconnu que le meilleur moyen d'élaboration de ces produits nouveaux, pour en répandre l'emploi, était la fusion.

§ 3. — Procédé Bessemer.

Ce rapprochement d'idées existait dès lors aussi chez quelques esprits en France, en Angleterre surtout, et les diverses formules de préparation d'acier doux fondu ou de métal homogène y répondaient. Mais une transformation plus radicale de l'affinage des fontes devait sortir de ces efforts. Vers la fin de 1856, en effet, on annonçait que M. Bessemer venait de trouver, en Angleterre, le moyen de convertir directement et sans combustible la fonte en acier fondu. La formule était bien faite pour frapper l'attention du monde industriel, comme aussi son exagération pour provoquer l'incrédulité et semer les obstacles sur la route de l'inventeur. Cependant, grâce à la ténacité de celui-ci, le jour se fit peu à peu sur la véritable portée de sa découverte, et, en quelques années de discussions publiques et d'essais, il se révélait un procédé fort remarquable, qui ne faisait plus toute l'économie de combustible annoncée d'abord, — qui ne s'appliquait pas à toutes sortes de fontes, — mais qui, avec des matières convenables, réalisait bien la conversion directe de la fonte en acier fondu plus ou moins dur et même en fer fondu. La brillante collection de produits exposés par M. Bessemer à Londres, en 1862, montra qu'à cette date le pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cédé était industriel. Alors déjà il était expérimenté avec succès en Suède et en Allemagne, en voie d'application aussi en Belgique et en France. Enfin, les galeries de l'Exposition universelle de 1867 donnent la preuve du rapide développement qu'a pris ce mode de fabrication : elles donnent aussi la mesure du véritable progrès qu'il a apporté dans l'industrie sidérurgique. Dans plusieurs fabrications spéciales, il est incontestable aujourd'hui que le métal Bessemer (pour employer l'appellation que, avec beaucoup de raison, la pratique a substituée à celle d'acier Bessemer, pour désigner un produit de nature essentiellement variable), il est incontestable que ce métal peut être immédiatement élaboré du lingot en produit fini; il en est ainsi dans la fabrication des rails, des essieux, des arbres, etc., et, en général, pour tous les emplois où les anciens procédés de soudage et de corroyage du fer et l'acier, malgré soins et dépenses, ne donnaient pas la sécurité voulue dans la continuité et dans l'homogénéité du métal. Mais lorsqu'il s'agit d'aciers proprement dits et surtout d'aciers fins, le procédé Bessemer, même avec des fontes plus choisies, comme il en faut pour ces produits, n'est qu'un procédé d'affinage fournissant un demi-produit qui n'acquiert la pureté, la qualité voulues que par élaborations nouvelles, seconde fusion en creusets, martelages, etc. Enfin, on n'est pas parvenu encore à obtenir régulièrement, avec aucune fonte, le fer fondu, étape de la conversion Bessemer où il est fort difficile de s'arrêter exactement. Ce mode d'affinage ne permettrait donc pas encore de fabriquer l'équivalent des fers nerveux, capables de grands allongements, tels qu'en réclament tant d'usages. Le four à puddler, mieux encore que le bas foyer, resterait toujours l'appareil le plus convenable pour la préparation de cette variété de fer, et surtout pour la préparation des fers communs, la cornue Bessemer n'ayant, jusqu'ici, réussi nulle part avec les fontes médiocres au coke, matière première la plus fréquente aujourd'hui de la fabrication des fers marchands.

Depuis que le procédé Bessemer a commencé à se répandre,



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bon nombre de réclamations ont surgi de la part d'inventeurs prétendant à l'antériorité ou à la simultanéité de la découverte; l'un avait proposé l'affinage de la fonte par un courant d'air et de vapeur d'eau; l'autre par un courant alternatif de gaz oxydants et réducteurs. Ce n'est point ici le lieu de discuter ces réclamations et prétentions ; mais il faut bien reconnaître qu'aucune de ces idées n'avait et n'a encore été appliquée d'une façon pratique comme celle de M. Bessemer.

D'autres inventeurs, dont quelques-uns figurent à l'Exposition de 1867, ont modifié le travail du puddlage de façon à y obtenir des résultats analogues à ceux du convertisseur Bessemer. Plusieurs se disputent la priorité de l'idée suivante : sur la sole d'un four approprié et capable surtout d'une très-haute température régulièrement soutenue, on maintient et brasse de la fonte, tantôt additionnée de réactifs oxydants, minerais de fers purs, battitures, etc., ou de riblons de fer, d'acier fondu ou naturel; tantôt alternativement exposée à des actions oxydantes et réductrices, et on continue cette manipulation, en renouvelant les additions, dans le premier cas, et les alternances de réaction, dans le second, jusqu'à ce que le métal soit parvenu à l'état d'acier fondu qu'on coule en lingots. Ces procédés rappellent beaucoup les moyens connus et appliqués depuis longtemps, soit dans le mazéage des fontes au réverbère, soit dans la fabrication de l'acier fondu au creuset, ou encore dans la fusion de l'acier de toutes pièces, ou par mélange de fonte convenable et riblons sur la sole d'un réverbère. Les difficultés qu'avait rencontrées jusqu'ici l'application de ces moyens dans les fours à réverbère, peuvent être sensiblement amoindries par les perfectionnements récents des fours à gaz, notamment par l'introduction des fours Siemens ; mais on peut se demander si l'apparente simplicité des anciennes installations, comparées à celles d'un atelier Bessemer, ne seront pas compensées par des frais d'entretien plus élevés, en même temps que par les frais d'un brassage à bras d'homme, substitué au brassage mécanique. Il faudrait savoir encore si, dans le cas d'affinage réel

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la fonte, le départ de l'acier produit et des scories se fera toujours aussi bien, sinon mieux, comme on le prétend, que dans la cornue Bessemer; si, enfin, quelques-uns de ces procédés ne réclameront pas aujourd'hui, comme lorsqu'on les a appliqués par le passé, un choix de fontes encore plus sévère que le Bessemer lui-même?

Nous avons dit ci-dessus pourquoi le procédé Bessemer ne semblait pas appelé, comme on l'avait espéré dès le début de cette invention, à détrôner complétement le puddlage ordinaire; rien non plus de semblable à espérer des procédés dont nous avons parlé ensuite. Mais n'y a-t-il aucun perfectionnement à apporter dans le travail du four à puddler; aucun moyen, en particulier, de faire mécaniquement cette partie si pénible de l'opération, le brassage? C'est là un problème jusqu'ici resté sans solution, du moins sans solution définitivement acceptée par la pratique, malgré les nombreuses tentatives faites récemment en Angleterre, en Belgique et en France. Tantôt, imitant le principe de la cornue Bessemer, on a rendu la sole du four mobile, l'animant d'un mouvement de rotation alternatif ou continu, pendant lequel la masse liquide (fonte et scories) s'agitait, soit par le seul fait des mouvements relatifs, soit par le concours de ringards fixes; tantôt, et plus simplement, le four restant fixe, on disposait par les portes de travail, des agitateurs mobiles mus par machines, et que guidaient seulement les hommes chargés, comme d'ordinaire, de la confection et de l'extraction des loupes. Aucun de ces dispositifs n'est parvenu à assurer à la fois une perfection suffisante de l'affinage et une économie sensible sur les frais de façon.

Après les procédés d'affinage, nous passerons rapidement en revue, pour terminer ce qui concerne spécialement la métallurgie du fer, les moyens de fabrication des produits finis en fonte, acier et fer.

§ 4. — Fabrication des produits finis.

Fontes moulées.— Cette industrie n'a pas seulement profité

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des perfectionnements apportés dans la fabrication même de la matière première et des facilités que lui donnait l'amélioration de la qualité des fontes au coke, pour les substituer aux fontes au bois. Les procédés mêmes du moulage ont continué à s'améliorer, particulièrement en France.

Dans les productions communes, comme les moulages de tuyaux, les procédés mécaniques et expéditifs de préparation des moules qui, appliqués d'abord en Écosse, avaient si vivement intéressé les visiteurs des premières Expositions universelles, ont été introduits, répandus et perfectionnés chez nous, et les installations, créées à ce propos, dans plusieurs de nos grands établissements, ne laissent rien à envier à l'étranger.

Moulure mécanique. — Ici, surtout pour les usages de la grosse construction mécanique, l'Angleterre est depuis longtemps parvenue à une grande perfection : rien de plus frappant à cet égard que les organes des puissantes machines marines exposées en 1862 par les constructeurs anglais : nous avons pu constater cette année que les produits similaires de la France supportent largement la comparaison comme aspect de moulages. Quant à la résistance, qualité si essentielle dans les pièces de cette sorte, ce que nous savons des résultats d'un grand nombre d'expériences nous porte à douter qu'aucun établissement étranger dispose aujourd'hui de fontes de moulage plus fortes que plusieurs de nos grandes fonderies.

L'on peut rattacher à la même catégorie les moulages de guerre pour canons et projectiles, à cause de la résistance qu'ils réclament. L'Exposition de 1867 renferme beaucoup de spécimens de ces moulages, et quelques-uns des canons exposés montrent que les ateliers d'où ils sortent sont organisés pour exécuter toutes les dimensions que peut exiger le progrès de l'art militaire. Jusqu'ici, sauf en Angleterre et en Belgique, la plupart des États européens appliquent encore des fontes au bois à cette fabrication ; mais les améliorations incessantes des fontes au coke, la résistance extraordinaire que quelques-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

unes de ces fontes présentent, sont des motifs de croire que, là aussi, le combustible minéral détrônera le charbon de bois. Quant aux projectiles, les sortes ordinaires se font déjà depuis longtemps avec des fontes au coke, de nature souvent fort commune ; mais, à mesure que croît la puissance des engins défensifs, l'esprit d'invention cherche de nouveaux moyens d'attaque et la qualité des projectiles est, pour beaucoup d'hommes compétents, le complément indispensable des gros canons opposés aux cuirasses métalliques. Ici la résistance ou mieux la ténacité sous le choc ne suffit plus, il faut une certaine dureté sans laquelle on n'obtient qu'une faible pénétration du projectile dans la muraille métallique.

Pour quelques-uns l'acier lui-même n'offre pas assez de sécurité sous ce rapport et d'autres n'estiment rien tant que certaines fontes trempées ou blanches naturelles, ayant à la fois une résistance suffisante pour ne pas se pulvériser sous le choc et une dureté supérieure à celle des aciers les plus durs. La plupart de ces fontes proviennent de divers pays étrangers : États-Unis, Angleterre, Suède, Allemagne. Ce sont, le plus souvent, des alliages complexes, produits de recettes empiriques, que leurs auteurs tiennent secrètes, et dont l'analyse chimique ne facilite pas beaucoup la reproduction. Presque toujours, ce sont des projectiles fort chers, et il est douteux qu'ils soient le produit d'un travail courant de haut fourneau; il est plus probable qu'on les obtient par des fusions en petit au creuset, semblables à celles qu'on emploie dans la fabrication de beaucoup d'alliages. Quoi qu'il en soit, il y a là une fabrication spéciale non encore connue en France et qu'il importe d'y introduire, en raison même de son but.

Moulage d'ornementation. — Voilà un dernier article de moulerie à propos duquel l'Exposition de 1867 est aussi riche que ses devancières; mais là aussi, tout en se maintenant à un rang brillant, la France n'est pas encore la première sans conteste ; l'Allemagne et particulièrement la Prusse conservent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'avantage, sinon sous le rapport de la beauté des modèles, du moins sous celui de la perfection des lignes et des surfaces. Ici encore il faut voir le succès dans une connaissance parfaite des dosages les plus propres à ces moulages délicats : les progrès faits en France depuis quelques années dans la fabrication des autres fontes d'affinage ou de moulage nous font espérer que nos fondeurs, s'ils ont à se plaindre de l'imitation de leurs modèles à l'étranger, sauront en retour prendre à celui-ci son habileté dans la préparation de l'alliage, matière première de leur art.

Acier fondu. — Cette industrie touche aujourd'hui, par plus d'un point, à celle des fontes moulées. D'abord l'acier s'est substitué à la fonte dans la préparation de beaucoup de moulages mécaniques (roues, engrenages, arbres, cylindres, etc.); ensuite, on est parvenu à appliquer à l'acier les moyens de moulage usités pour la fonte et, grâce aux progrès des moyens de fusion, à livrer ainsi des aciers moulés de toutes dimensions et de formes les plus variées. Au premier rang, comme progrès des moyens de fusion de l'acier, nous trouvons l'application du four Siemens. Disposé tantôt à dix, tantôt à vingt creusets, cet appareil permet de fondre des quantités déjà importantes d'acier, à l'aide de combustibles très-ordinaires et avec une grande économie sur les anciens procédés de fusion au coke ou à la houille. Et pourtant, ceux-ci avaient déjà été bien améliorés, sous le rapport de l'économie, pendant la période de 1850 à 1860. La substitution de la houille brute au coke dans des fours soufflés, l'accroissement du nombre des creusets avaient, en effet, permis de fondre à meilleur marché des quantités chaque jour croissantes ; mais il fallait encore à ces anciens fours des combustibles convenablement choisis, tandis que le four Siemens emploie les houilles les plus médiocres et même les tourbes ou autres combustibles plus légers. Enfin, de tous les fours de fusion de l'acier, le système Siemens nous semble le plus propre à réaliser une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

application souvent tentée sans succès jusqu'ici, nous voulons dire la fusion de l'acier au réverbère, sans creuset. Ce serait là le complément naturel de l'invention Bessemer et il résulterait certainement, de la combinaison des deux appareils, un grand pas en avant pour l'emploi des aciers fondus communs par grandes masses.

Les perfectionnements des procédés de fusion de l'acier n'ont pas seulement servi à répandre les aciers moulés, ils ont encore été fort utiles à la fabrication des grosses pièces en acier fondu, martelées ou laminées. Mais ici les moyens de finissage sont empruntés au travail des fers proprement dits, c'est-à-dire aux procédés des forges dont nous allons dire quelques mots pour terminer ce qui concerne l'industrie du fer.

Fers en barres. — Leur fabrication a subi, depuis quelques années, plus d'une transformation; mais les modifications que nous aurions à y signaler, si nous pouvions entrer dans plus de détails, tiennent au choix des matières premières, à l'assortiment des fers bruts destinés à composer les paquets de finissage plutôt qu'à de grands perfectionnements dans les procédés de fabrication proprement dits. C'est à propos de produits plus variés de formes ou plus saisissants par leurs dimensions que les moyens des forges, laminoirs ou forges de grosses œuvres au marteau, se sont accrues et améliorées. Des dispositions nouvelles de laminoir, une grande habileté dans le tracé des cannelures, la combinaison du martelage et du matriçage, le profilage des paquets avant le laminage, voilà, en quelques mots, les moyens par lesquels les forgerons sont parvenus à livrer ces pièces de modèles si divers que, il y a quelques années encore, l'on n'aurait demandées qu'au moule d'un fondeur ou aux assemblages d'un constructeur. Il a fallu, d'un autre côté, pour affronter le martelage ou le laminage de quelques-uns des grands fers qui figurent à l'Exposition de 1867, disposer d'outillages d'une puissance exceptionnelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Des moteurs de 2, 3 et 4 ou 500 chevaux, des pilons de 10, 20, 30 tonnes et plus, des laminoirs capables de passer des paquets de 8, 10 et 12,000 kilogrammes, voilà les éléments de ces outillages. Enfin, il fallait encore les moyens de chauffage et de manœuvre pour de pareilles masses de fer, et, si l'on songe qu'il s'agit d'assembler par soudage des paquets dont la section primitive est souvent considérable, on comprendra que cette dernière partie du problème n'était pas la moins difficile. C'est à ces difficultés spéciales d'assemblage que nous faisions allusion tout à l'heure, en parlant du secours à attendre en pareil cas des perfectionnements de la fusion de l'acier. Chaque fois qu'un acier plus ou moins doux, un métal Bessemer convenable, pourra être substitué au fer, il est incontestable que les grosses fabrications dont il s'agit auront avantage à l'adopter, en renonçant au procédé long, dispendieux et toujours incertain du soudage. Tout en espérant beaucoup des progrès à réaliser dans cette voie, il faut bien rappeler néanmoins que nombre d'usages auxquels sont destinés les gros produits en question s'accommodent mal d'une matière rompant brusquement, comme la plupart des aciers communs fondus : il est donc probable que l'on continuera à appliquer le fer doux à quelques-uns de ces produits.

A un autre point de vue, ces grosses fabrications et les outillages qu'elles ont motivés demeurent un véritable progrès pour les forges : en montrant jusqu'où peut aller la hardiesse de l'homme dans le travail du fer, en provoquant la création de moteurs d'une pareille puissance, elles habituent le personnel des ateliers métallurgiques à oser davantage dans les fabrications plus ordinaires. En fait, à côté de ces pièces extraordinaires, l'Exposition de 1867 montre toujours des produits plus courants, produits d'une fabrication parfaite et répondant à tous les besoins : des tôles minces ou épaisses de surfaces inconnues jusqu'ici ; des fers à T, cornières et autres fers de constructions sur toutes longueurs, des ronds laminés et longs de près d'un demi-kilomètre, etc., tous produits qui accusent de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grands progrès dans l'ouvraison au laminoir et au marteau du fer et de ses dérivés. Observons enfin qu'ici les forges françaises tiennent un des premiers rangs : du moins peut-on dire que le nombre des forges entrées dans cette voie de renouvellement et perfectionnement du matériel est, toutes choses égales d'ailleurs, plus grand chez nous que nulle part ailleurs.

CHAPITRE III.

PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES APPLICABLES AUX MÉTAUX AUTRES QUE LE FER.

Le traitement métallurgique des métaux autres que le fer, tout en étant largement représenté à l'Exposition de 1867 par les collections de produits de la classe 40, n'offre pas de progrès importants à signaler, surtout à côté de ceux dont il a été question aux chapitres précédents.

En Europe, les formules de traitement des minerais de cuivre, plomb, zinc, étain, mercure, or et argent sont fixées depuis longtemps dans les districts miniers d'Allemagne, d'Angleterre, de Suède et Norwége, pays classiques pour ces branches de l'art métallurgique, et c'est là que vont toujours chercher des modèles les contrées moins riches en ces sortes de productions minérales. Toutefois, les changements économiques provoqués par l'amélioration des voies de transport se font sentir là aussi : la lutte des combustibles, végétal et minéral, se retrouve dans ces industries comme dans celle du fer ; dans l'un comme dans l'autre cas, le charbon de bois cède chaque jour le pas à la houille, le four à cuve au four à réverbère ou, en d'autres termes, aux procédés allemands, se substituent les procédés anglais. Les progrès de la gazéification des combustibles légers sont un autre stimulant pour cette substitution, et ce qui le montre, c'est l'application récente du réverbère

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à gaz au traitement du cuivre dans des contrées comme la Suède, autrefois pays du four à cuve par excellence.

Les fours à cuve sont cependant encore fort répandus et ils ont été, de leur côté, l'objet de perfectionnements plus ou moins importants. L'amélioration la plus saillante est celle du four appliqué en diverses contrées, mais particulièrement au Hartz, au traitement des galènes cuivreuses et argentifères, sous le nom de Fourneau Rachette. Depuis longtemps, on se sert au Hartz et en Saxe, pour les fontes crues des minerais plombo ou cuivro-argentifères, de demi-hauts fourneaux à une ou deux tuyères ; déjà, il y a vingt ans, on avait, à Freiberg, modifié ces appareils en doublant leurs dimensions transversales et aussi le nombre des tuyères, sans changer la hauteur; ces fours modifiés avaient reçu le nom de fours doubles, et leurs résultats avaient été une plus rapide production et une économie, non-seulement sur les frais de fusion proprement dits, mais encore sur les pertes par produits accessoires. C'est la même idée qui a présidé à l'érection des fours Rachette, à dix tuyères, à deux trous de coulée, tels qu'ils figurent dans l'exposition prussienne pour le Hartz. Si l'on en croit les renseignements fournis par les exposants, les résultats de ces nouvelles modifications auraient encore été à peu près proportionnels aux accroissements de dimensions.

Ce progrès des fours à cuve en rappelle un autre : les fours à manche, à tirage naturel (*hornos de gran tiro*), construits d'abord en petit en Espagne pour suppléer aux fours soufflés, en l'absence d'une force motrice économique. On les a depuis construits en diverses contrées et sur une beaucoup plus grande échelle pour fondre tantôt des minerais de plomb faciles à traiter, tantôt des scories riches d'anciennes exploitations. Pour ces fusions simples, l'augmentation de dimensions a toujours été suivie d'une économie dans les frais de traitement.

Si, laissant de côté quelques recherches plutôt chimiques que métallurgiques, tentées en vue d'améliorer le traitement de certains minerais de cuivre et de quelques minerais pré-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cieux ; si, laissant également à la chimie industrielle les perfectionnements récents de la fabrication du platine et de l'aluminium ou de leurs alliages ; si, nous limitant ainsi à l'extraction proprement dite des métaux usuels autres que le fer, nous trouvons si peu à constater comme avancement des procédés métallurgiques, il en serait autrement, dans une revue rapide des ateliers d'où sortent les feuilles, fils, tubes et objets si variés en plomb, cuivre, zinc, étain, exposés dans la classe 40. Depuis les grandes tôles de cuivre rouge, laminées ou battues, droites ou embouties destinées aux constructions mécaniques ou aux appareils de chimie industrielle, jusqu'aux feuilles d'étain, d'or, d'argent et alliages divers destinés à l'étamage ou au broyage pour couleurs métalliques ; depuis ces longs et larges tubes de cuivre jaune et rouge, étirés sans soudure, jusqu'à ces fils si fins de laiton, de zinc, d'or et d'argent, que de témoins de l'avancement dans l'ouvraison de tous ces métaux !

La nature même des matières premières ne se prête pas à leur mise en œuvre sur masses comparables à celles que nous avons vu prendre aux produits en fer ou en acier ; mais on retrouve là, comme perfectionnement du travail, des procédés et de l'outillage, quelque chose de semblable à ce que nous constations plus haut pour les forges ; et ici encore l'industrie française marche au premier rang, bien que la production de ces métaux divers soit à peu près nulle chez nous.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VII

FOYERS FUMIVORES

PAR M. ED. GRATEAU.

§ 1. — Considérations générales.

Le développement de l'industrie a rendu de plus en plus graves les inconvénients résultant des torrents de fumée noire rejetés dans l'atmosphère, par les divers foyers des manufactures. On s'est d'abord contenté d'exiger pour leur émission des cheminées de grande hauteur; le dommage était ainsi diminué pour les voisins, mais il existait en entier au point de vue de la perte du combustible entraîné sous forme de charbon très-divisé et dont on exagérait l'importance. On a demandé alors à la physique industrielle un remède à cet état de choses doublement préjudiciable, et les inventeurs n'ont pas tardé à multiplier le nombre des solutions du problème, sans qu'aucune, jusqu'à présent, paraisse avoir rempli toutes les conditions exigées par la pratique. Mais la fumivorité des foyers présente aujourd'hui plus qu'un intérêt technique et économique ; elle est devenue une question administrative, au moins dans la plupart des grandes villes. Dans le département de la Seine, en particulier, elle est réglementée par une ordonnance de police du 11 novembre 1854. Les divers procédés employés pour prévenir ou brûler la fumée sont donc importants à plusieurs égards, et il convient, pour mieux apprécier leur rôle, d'établir nettement la nature du phénomène auquel ils doivent s'opposer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les causes de la fumée sont très-bien résumées dans l'*Instruction* rédigée par le Conseil d'hygiène publique et de salubrité de la Seine, à laquelle sont en partie empruntées les considérations suivantes :

La fumée est occasionnée par les produits volatils qui se dégagent de la plupart des combustibles (bois, tourbes, houilles), lorsqu'ils sont brusquement soumis à une température élevée. Ces produits sont principalement des hydrogènes carbonés, qui sont très-combustibles, mais qui exigent, pour s'enflammer, deux conditions : 1° leur mélange avec l'air en proportion convenable ; 2° une haute température de ce mélange. Si ces deux conditions ne sont pas réalisées dans le foyer lui-même ou dans les carneaux parcourus par les produits gazeux de la combustion, les carbures d'hydrogène se décomposent, et il se forme un abondant dépôt de suie ou de charbon très-divisé, susceptible d'être entraîné par le courant de gaz qui sort de la cheminée. Par exemple, si l'on suppose que sur une grille couverte de coke incandescent, on vienne étendre une couche de houille de 20 à 25 centimètres d'épaisseur, les parties de houille fraîche qui se trouvent en contact avec le coke subissent une distillation rapide, la température du foyer baisse subitement, en même temps que le passage de l'air à travers la grille et le combustible se trouve obstrué. Par conséquent, les deux conditions nécessaires pour l'inflammation des carbures d'hydrogène n'étant pas réalisées, la fumée se dégage de la cheminée en nuages opaques. Dans ces circonstances, l'introduction de l'air par la porte du foyer ou par tout autre orifice débouchant directement au-dessus du combustible est sans effet, parce que la température est insuffisante pour l'inflammation des gaz. La fumée décroît d'intensité à mesure que la houille se convertit en coke, que l'air trouve un accès plus libre entre les fragments de combustible, et que la température s'élève de nouveau par le fait de la combustion. Mais si, avant que la distillation soit complète, on vient *piquer le feu*, des morceaux de houille non encore carbonisée sont amenés au contact du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

coke incandescent, la distillation s'accélère, et il y a recrudescence de fumée.

Les foyers dont les grilles ont une surface assez grande pour que la charge de combustible ne les recouvre que partiellement et sur une faible épaisseur, donnent peu de fumée, surtout si le chauffeur prend la précaution de charger la houille par petites quantités à la fois et sur le devant de la grille, afin que les produits gazeux de la distillation n'arrivent aux carneaux qu'après avoir passé sur la masse du coke embrasé.

La production de la fumée est d'autant plus abondante, toutes choses égales d'ailleurs, que les combustibles employés contiennent plus d'éléments volatils, par exemple, pour les houilles, d'autant qu'elles sont plus grasses et plus collantes. Certaines variétés de houilles sèches du département du Nord et du bassin de Charleroi, donnent très-peu de fumée dans un foyer bien construit; le coke n'en donne pas du tout.

Les combustibles gazeux formés dans les *générateurs à gaz* des divers systèmes (Ebelmen, Thomas et Laurens, Beaufumé, Siemens, etc.), se composant principalement d'oxyde de carbone mélangé d'azote, ne peuvent, dans leur combustion, donner lieu à de la fumée, puisque le produit final est de l'acide carbonique, et qu'ainsi il n'y a pas dépôt de carbone libre. C'est donc à tort qu'on a donné quelquefois le nom de foyers fumivores à ceux qui sont alimentés par des combustibles gazeux. La fumivorité ne peut en effet consister qu'à empêcher la production *possible* de la fumée.

§ 2. — Rôle des appareils fumivores.

Ces appareils doivent rationnellement *prévenir* la production de la fumée et non *brûler* celle-ci, comme on le dit souvent. En effet, au sortir du foyer, les gaz renferment le carbone à l'état de combinaisons hydrogénées incolores; ils s'enflamment au contact de l'air et se décomposent par suite de la combinaison de leur hydrogène avec l'oxygène de l'air, et c'est alors

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

seulement que le carbone, devenu libre, se dépose sous forme de nuages noirs et fuligineux. A cet instant, on n'a plus aucune prise sur lui, et il est irrévocablement perdu comme combustible, tout en produisant les incommodités qui ont conduit l'administration à intervenir dans la question. Le problème est donc, non pas de brûler la fumée des charbons, mais de brûler les charbons sans fumée.

§ 3. — Moyens de prévenir la fumée.

On a vu que la fumivorité des foyers dépend surtout d'une alimentation convenable; on doit donc chercher à régulariser le plus possible la distribution du charbon sur les grilles. Les moyens mécaniques paraissent, au premier abord, très-propres à ce genre de travail, et beaucoup de systèmes ont été basés, en effet, sur leur emploi ; mais la pratique ne leur a pas été favorable, à cause de la complication ou de la difficulté d'entretien de leurs organes. Relativement au mode d'introduction de l'air, on doit préférer des orifices nombreux à une seule ouverture, parce que la réaction mutuelle des filets d'air et de gaz est plus facile, et, d'ailleurs, l'introduction d'une colonne d'air frais de trop gros volume produit un effet réfrigérant sur la flamme, ce qui est tout à fait contraire au but que l'on se propose. M. Wye Williams, de Liverpool, est d'avis, contrairement à l'opinion de la plupart des ingénieurs, que le lieu d'admission de l'air est tout à fait indifférent, pourvu que le mélange de cet air et du gaz combustible soit effectué d'une manière continue. Il a conclu (1) de la composition chimique des hydrogènes carbonés fournis par la distillation de la houille fraîchement chargée, qu'il faut, pour brûler chaque volume de ces gaz, un volume d'air dix fois plus considérable. De plus, cet air doit être frais et non pas

(1) Voir l'ouvrage : *Considérations chimiques et pratiques sur la combustion du charbon et sur les moyens de prévenir la fumée,* par C. Williams. Traduit en français, par M. Bona Christave.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avoir traversé déjà la couche de coke, où il s'est dépouillé d'oxygène et chargé d'acide carbonique et d'oxyde de carbone. En résumé, on atteint le mieux les conditions d'une bonne combustion en cherchant à appliquer en grand dans les foyers la donnée sur laquelle est basée la lampe à bec d'Argand. Ces principes avaient du reste été posés, dès 1833, par M. Lefroy, ingénieur en chef des mines, et ils ont été confirmés dans un rapport de M. Combes, inspecteur général des mines, présenté, en 1846, à la Commission centrale des machines à vapeur.

Les expériences de M. de Commines de Marsilly ont montré que le tirage exerce sur la fumivorité une influence non moins notable que la disposition du foyer et de la grille. Un courant d'air actif permet, en effet, d'opérer la combustion complète de la houille avec un très-faible excès d'air, résultat important au point de vue économique, puisque le trop grand afflux d'air ne détermine la combustion de la fumée qu'en augmentant la consommation du combustible. Cette observation conduit à remarquer que la fumivorité et l'économie de combustible ne sont pas corrélatives, comme on le pense généralement. Les foyers à grand excès d'air sont fumivores, mais ne sont pas économiques. Les deux conditions s'excluent souvent mutuellement, et les expériences de la Société industrielle de Mulhouse ont même montré que la marche la plus économique correspond, dans les foyers ordinaires, à la production d'une fumée noire. En fait, la condition du maximum d'économie du combustible n'est pas de brûler la fumée, c'est de brûler complétement les gaz, avec la quantité d'air strictement nécessaire. L'excès contraire, c'est-à-dire le défaut d'air atmosphérique, devient aussi une cause de perte, en ne permettant pas de brûler complétement les gaz combustibles.

Si l'on peut, par des dispositions rationnelles du foyer, combattre les inconvénients de la fumée, il ne faut pas oublier toutefois qu'une amélioration très-notable peut être obtenue simplement par la bonne conduite du feu. Un chauffeur soigneux et intelligent peut, avec un foyer ordinaire, obtenir des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

résultats que ne donneront pas les appareils fumivores les plus perfectionnés, s'ils sont employés avec négligence. Les bonnes proportions du foyer sont surtout dans ce cas d'une grande importance. M. Combes a trouvé que, pour rendre un foyer ordinaire aussi fumivore que possible, la grille doit présenter une surface d'au moins 1.5 décimètre carré par kilogramme de houille à brûler et par heure; la somme des vides entre les barreaux doit être le quart de l'aire totale de la grille, la section de la cheminée égale au tiers de cette aire, et la section des carneaux égale à celle de la cheminée. De plus, il convient d'établir ces dimensions pour une consommation normale largement calculée, afin d'éviter les inconvénients que produirait une surcharge momentanée de la grille.

§ 4. — Appareils fumivores.

Les dispositions prises pour éviter les inconvénients de la fumée sont de deux sortes : des moyens palliatifs et des moyens préventifs. Les premiers ont pour but de faire disparaître la fumée produite par les foyers, et, ainsi qu'on l'a vu précédemment, ils ne résolvent pas directement le problème. Ils consistent essentiellement dans le lavage de la fumée ou dans son passage sur des surfaces incandescentes. Les procédés de la seconde classe, dans lesquels on s'attache à empêcher la production de la fumée, tout en utilisant mieux les produits combustibles, peuvent être rapportés à trois types, représentés par divers spécimens à l'Exposition : 1° les foyers où la cheminée produit l'appel d'un ou plusieurs jets d'air arrivant par des ouvertures ménagées en diverses parties du fourneau ; 2° ceux où l'on fait usage de courants d'air forcé ou de jets de vapeur ; 3° enfin ceux où l'on emploie plusieurs grilles, ou une seule disposée de manière que le charbon distille avant de brûler.

Les appareils de la première catégorie sont les plus sim-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ples, les moins coûteux, et peuvent fournir, néanmoins, d'excellents résultats. Ce sont ceux qui ont été principalement l'objet des travaux de M. Williams et de M. Combes.

Le système Williams consiste en une chambre à air, établie derrière le cendrier, sous l'autel, et qui puise l'air atmosphérique au moyen d'un tuyau en fonte, ouvert à l'avant du fourneau. Le fond du foyer est un plan incliné, formant l'une des parois de la chambre à air, qui est composée de plaques de fonte percées d'un grand nombre de trous. L'air, appelé par le tirage de la cheminée, s'échappe à travers ces trous, sous forme de jets nombreux qui pénètrent dans le courant gazeux et en déterminent l'inflammation.

Le foyer Palazot, d'une construction très-simple et très-efficace, a été appliqué à la chaudière de M. Boyer, l'une de celles affectées à la production de la vapeur pour le service mécanique de l'Exposition de 1867. On a pu constater que cet appareil est fumivore, mais sans qu'on puisse le regarder comme réellement économique. Dans ce système, l'air extérieur pénètre dans le foyer, soit par une fente étroite pratiquée dans toute la largeur de l'autel, à quelques centimètres en arrière de la grille, soit par une petite grille, placée à l'avant du foyer, transversalement à la grille ordinaire. Une petite voûte en matériaux réfractaires couvre l'autel et rétrécit la section du courant gazeux. La chaleur réfléchie par cette voûte contribue à déterminer l'inflammation complète des gaz combustibles.

Dans le procédé de MM. Dureau et Blard, également exposé, la fumivorité est obtenue en faisant arriver au-dessus de la grille une nappe d'air horizontale, dirigée d'arrière en avant, c'est-à-dire en sens contraire du mouvement des gaz chauds. L'air s'introduit par le cendrier où il commence à s'échauffer, monte dans la murette du fond jusqu'à l'autel, et sort par une série d'ouvertures ménagées sur toute la largeur de la grille. Un registre sert à régler l'admission de l'air.

Parmi les appareils appartenant à la seconde catégorie, on

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

doit mentionner le foyer pour chaudières de MM. Molinos et Pronnier, qui offre à peu près le seul exemple de fumivores basés sur l'emploi de l'air forcé et la combustion dans une chambre fermée. Bien que les expériences faites sur cet appareil paraissent avoir été satisfaisantes, sa complication et son prix élevé l'ont empêché de se répandre.

Il en est de même de l'emploi de la vapeur injectée au-dessus ou au-dessous de la grille. Ce moyen, indiqué d'abord par M. Fyfe, d'Edimbourg, pour brûler les houilles sèches et les anthracites, a été appliqué par M. Jvison aux foyers alimentés avec des houilles grasses. On comprend, en effet, qu'un jet de vapeur d'eau lancé à travers une couche de combustible enflammé, ou à la surface de ce combustible, se décompose en partie avec production d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et d'hydrogène. On obtient ainsi une flamme longue et sans fumée ; mais il se produit en même temps un abaissement de température dans le foyer ; et, en résumé, les expériences comparatives faites à Mulhouse n'ont pas donné un résultat bien favorable. On remarquait, néanmoins, à l'Exposition un foyer de ce genre, dû à M. Thierry, et qui, depuis quelques années, a reçu un assez grand nombre d'applications. Dans ce système, la vapeur d'injection est empruntée à la chaudière même ; elle se surchauffe dans des tubes en fer, placés au-dessus du foyer, et elle est projetée sur le combustible par de petits orifices percés dans un de ces tubes situé un peu au-dessus de la porte du fourneau. La dépense de vapeur est faible, car on n'en emploie qu'une quantité relativement petite ; en effet, elle se dépouille, dans l'appareil surchauffeur, de toute l'eau qu'elle renfermait, et dont la vaporisation double son volume. En outre, la vapeur, parfaitement sèche, ne refroidit pas le combustible comme la vapeur saturée et humide ; elle agit comme un soufflet en aspirant l'air du dehors par le fait de sa détente, et elle se comporte comme un gaz combustible en se décomposant sur le devant du foyer. L'expérience a été favorable au foyer Thierry, non-seulement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au point de vue de la fumivorité, mais encore à celui de l'économie, ce qui n'a pas été réalisé en général avec les appareils qui empêchaient la fumée de se produire ; suivant l'inventeur, l'économie moyenne serait de 8 à 12 pour 100.

M. Boreïko, de Chodzko, avait exposé un appareil fumivore, appartenant au troisième type. Ce système se compose d'une première grille, sur laquelle on charge le combustible à la manière ordinaire, et d'une seconde grille, plus courte, placée en contre-bas de la première, et sur laquelle le chauffeur rejette périodiquement une partie du coke formé sur la grille supérieure. Une voûte en briques réfractaires, établie au-dessus de la petite grille, oblige la fumée et les gaz incomplétement brûlés à passer sur la masse de coke incandescent qu'elle supporte et qui produit leur combustion complète. La conduite du feu avec cet appareil est très-simple, et son efficacité n'exclut pas l'économie.

Si l'on multiplie le nombre des grilles, le principe reste le même, et l'on arrive *aux grilles à gradins*. Ce système, originaire de Russie, avait été appliqué aux fours à ligneux de Neuberg, en Styrie, lorsque M. de Marsilly songea à l'introduire dans les locomotives, pour y substituer l'emploi de la houille à celui du coke. Plusieurs modifications y ont été apportées par MM. Chobrzinski, Langen, Hirn, etc. La grille à gradins de MM. de Marsilly et Chobrzinski se compose de deux parties : l'une inclinée, formée de barreaux plats et larges, disposés les uns au-dessus des autres en escalier, offrant un recouvrement de quelques centimètres en projection horizontale les uns par rapport aux autres, et laissant un libre accès à l'air entre les barreaux consécutifs ; l'autre horizontale, avec barreaux ordinaires placés à la suite du dernier barreau plat. Le combustible couvre la grille entière. Afin de simplifier le nettoyage de la grille à gradins dans les locomotives, on l'a ensuite composée d'un ou deux barreaux plats, seulement à la partie supérieure, puis de barreaux longitudinaux inclinés et aboutissant au jette-feu. Cette disposition

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

convient spécialement aux charbons gras et flambants; elle régularise en outre le mouvement progressif des charges à partir de la porte. L'exposition autrichienne offrait un spécimen de grille à gradins d'un bon agencement, envoyé par l'Administration I. R. des Salines à Ebensee. On y remarque une seconde grille placée au-dessous de celle qui fait suite aux barreaux en gradins, et destinée à brûler les escarbilles qui tombent à travers la grille principale.

On passe facilement du système Chobrzinski à celui de M. Tenbrinck. L'idée fondamentale de ce foyer est l'emploi d'une grille suffisamment inclinée pour que le combustible descende seul par son poids, et que l'alimentation soit continue. L'appareil et le foyer sont placés entre deux parois en briques réfractaires. Le combustible se charge dans une trémie inclinée placée au-dessus et sur le prolongement de la grille. L'épaisseur de la couche de combustible qui descend sur la grille est déterminée par l'écartement des parois de la trémie. La marche du foyer se règle uniquement au moyen d'un registre. M. Bonnet a cherché à rendre le système Tenbrinck applicable aux chaudières de locomotives ou de machines fixes, sans être obligé de modifier le foyer. Il y est arrivé en supprimant la trémie d'alimentation et en chargeant simplement à la pelle, à intervalles réguliers, au sommet de la grille. Dans ces conditions, non-seulement on a obtenu la fumivorité, mais encore une économie de 17 pour 100, sur un foyer ordinaire. Le système Tenbrinck et Bonnet était appliqué à la chaudière établie par l'usine de Graffenstaden pour le service mécanique de l'Exposition (classe 52).

On a généralement renoncé aux appareils où l'alimentation continue des foyers est obtenue par des moyens mécaniques. Tels sont le foyer à alimentation inférieure de M. Duméry, le projecteur à palettes de M. Collier, la grille tournante de Brunton, celle de M. Taillefer, etc. Toutes les dispositions de ce genre sont compliquées, coûteuses et d'un entretien difficile. L'examen des foyers fumivores exposés montrait bien

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que la tendance des constructeurs est de rechercher les moyens les plus simples. On a pu constater, en outre, une fois de plus, sur les nombreux foyers qui fonctionnaient, munis ou non d'appareils fumivores, l'influence que le soin apporté à diriger le feu exerce sur la production ou l'absence de fumée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VIII

GALVANOPLASTIE

PAR M. DE JACOBI.

En parcourant le Palais de l'Exposition universelle de Paris en 1867, où l'on se voit entouré des plus merveilleuses créations des sciences, des arts et de l'industrie, on se demande combien de siècles il a fallu pour atteindre à un tel degré de perfection; et ce n'est pas sans un certain saisissement que l'on est obligé de répondre : il n'a fallu que les quarante ou cinquante dernières années. Ce saisissement n'est rien cependant, en comparaison de celui qu'éprouveraient les grands génies de l'antiquité et même ceux du dernier siècle, s'ils pouvaient revivre et contempler les prodiges accomplis par les générations qui leur ont succédé. En effet, la mesure du temps a complétement changé; ce qui exigeait des siècles ne demande plus que des années; non parce que la capacité de l'esprit humain est agrandie, mais parce que la somme des connaissances successivement acquises s'est accrue chaque jour sur un nombre toujours croissant d'individus, et a multiplié presque à l'infini les facultés de l'espèce.

Qui ne possède aujourd'hui quelque notion sur les principes de physique et de mécanique au moyen desquels on a réussi à triompher de toutes les distances, à se transporter avec une rapidité extrême du point du globe à un autre, ou à transmettre la pensée, avec la promptitude de l'éclair dans toutes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les parties du monde? Qui ne sait que ces fruits des travaux et des veilles d'un nombre très-restreint d'individus sont devenus la propriété de tous, presque aussitôt qu'ils ont vu le jour, et ont augmenté, comme par enchantement, la prospérité, la richesse et la force de production des nations? Ainsi s'est réalisé le rêve des anciens alchimistes ; la vie humaine est réellement prolongée par une incalculable économie du temps et du travail, et la source de la fortune, que, dans leurs conceptions étroites, ils croyaient ne pouvoir trouver que dans l'or, a été créée par l'accroissement de production inouïe qu'on a su donner au métal le plus vulgaire.

En ne nous bornant qu'à un seul exemple, parmi le grand nombre que nous en pourrions citer, c'est à cette vulgarisation des notions scientifiques, dont nous confessons n'avoir pas même admis la possibilité au commencement de notre carrière scientifique ; c'est à l'accès que les grands principes et les résultats de la science ont eu dans les ateliers des artisans et des artistes, qui les ont transformés presque immédiatement en outillages , que le monde est redevable des applications aussi étendues que merveilleuses qu'ont reçues dans les temps modernes les lois de l'électricité et du magnétisme. En outre, les sciences une fois lancées dans cette voie des applications utiles, les progrès et les perfectionnements se succèdent avec une rapidité telle, que ni la plume de l'écrivain qui en voudrait retracer l'histoire ou seulement en fixer l'état à une époque quelconque, ni la mécanique de l'imprimeur ne sont assez puissantes pour les suivre : c'est ce que nous avons éprouvé nous-mêmes dans le cours de ce travail, où nous essayons de constater les progrès récents de la Galvanoplastie, tels qu'ils se sont manifestés à l'Exposition de 1867, et de signaler les services que, dans son état actuel de développement, elle est appelée à rendre à l'Industrie et aux Beaux-Arts.

Tout le monde convient que ce serait une tâche gigantesque à remplir si l'on voulait rassembler dans un même groupe

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

toutes les applications de la chaleur, même en se bornant à la fonte des métaux. A l'heure qu'il est, ces applications, malgré leur multitude et leur variété, sont considérées comme des faits accomplis ; les manipulations du fondeur sont connues, on s'est habitué à les voir exercer avec habileté ; on n'en parle plus, à moins qu'il ne s'agisse de tours de force hors ligne, ou de fontes exécutées dans des conditions de dimension extraordinaire, ou bien avec les métaux les plus réfractaires, les plus volatils ou les plus oxydables. Il viendra un temps, et qui n'est pas éloigné, où la Galvanoplastie, cette fonte à froid, sans élévation de température appréciable, sans retrait, sans ciselure, avec l'identité absolue de ses reproductions, rentrera dans la même catégorie, c'est-à-dire dans celle des faits accomplis, dont on ne parle que dans des cas exceptionnels. En effet, aujourd'hui même, nous trouvons à l'Exposition des applications de la Galvanoplastie, et une utilisation devenue presque obligatoire des moyens précieux qu'elle met à la disposition de tant d'industries diverses, sans qu'on ait cru nécessaire de signaler particulièrement la nature de ces applications et des produits qui en sont résultés.

On comprend aisément que la recherche des objets qui devaient rentrer dans le cadre de notre exposé, est devenue par cela plus difficile, et d'autant plus difficile, que très-fréquemment les explications qui nous auraient été indispensables nous ont fait défaut. Si donc on y trouve des lacunes, qu'on veuille bien nous les pardonner, la faute n'est pas à nous.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE I.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DU CUIVRE.

§ 1. — Qualités du cuivre galvanique.

En parlant des perfectionnements réalisés dans le domaine de la Galvanoplastie depuis dix ou quinze ans, nous avons d'abord en vue ceux qui concernent les dépôts du cuivre en particulier. A cet égard, il convient de remarquer qu'il est arrivé à la Galvanoplastie précisément le contraire de ce qu'on voit souvent dans l'industrie. A la vérité, les expériences et les essais faits d'abord sur une échelle restreinte, étaient loin de donner des résultats aussi satisfaisants que ceux qu'on a exécutés depuis sur une échelle plus étendue. Pour expliquer cette apparente anomalie, il faudrait entrer dans des considérations théoriques, sur lesquelles nous reviendrons dans une autre occasion. Le fait est que, au début, il n'était presque pas possible de produire du cuivre galvanique pouvant rivaliser, quant à sa constitution moléculaire et à ses qualités physiques, avec le cuivre laminé ou avec la fonte de cuivre, et nous avouons que les reproches formulés sous ce rapport contre l'exécution par la Galvanoplastie d'objets dont la durée devait être assurée, ou qui devaient offrir une certaine résistance, ou être exposés à des températures très-élevées, n'étaient pas sans fondement. Cependant, grâce à certaines modifications qu'on a su donner aux bains de cuivre, et grâce aux précautions avec lesquelles les diverses manipulations se font aujourd'hui, ces graves inconvénients n'existent plus.

Nous ne pouvons mieux justifier cette assertion qu'en nous reportant à la conférence faite en 1866 à la Société d'En-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

couragement, sur la demande de son illustre président, par M. Henri Bouilhet, un des chefs de la maison Christofle et C^ie^, et dans laquelle cet habile ingénieur, en traitant cette question avec autant d'élégance que de clarté, a signalé les modifications apportées dans la composition des bains de cet établissement. En effet, en y ajoutant une certaine quantité de nitrate de cuivre et d'autres sels qui sont encore en voie d'essai, parmi lesquels il nous a nommé particulièrement certains sels d'ammoniaque, il augmente la conductibilité de ses bains, de manière à pouvoir déposer par la même batterie une plus grande quantité de cuivre et obtenir une considérable économie de temps et de travail. Mais ce qui nous a paru le plus remarquable, ce sont les propriétés supérieures que le cuivre galvanique acquiert, d'après l'observation de M. H. Bouilhet, lorsqu'on ajoute aux solutions de sulfate de cuivre une quantité minime de gélatine. Le cuivre qui sort des bains ainsi préparés se distingue par sa dureté et sa ténacité; déjà même au toucher on croit avoir en main un autre métal. Les cuivres déposés dans l'usine de MM. Christofle et C^ie^ sont recrouis comme s'ils avaient été soumis à l'action d'un puissant laminoir; leur densité est considérablement augmentée; bien qu'elle n'atteigne pas entièrement celle du cuivre laminé, elle s'en rapproche, et elle est supérieure à celle du cuivre fondu, auquel ressemble le cuivre galvanique obtenu dans un bain pur ordinaire; tandis que le cuivre déposé dans un bain contenant de la gélatine, équivalant au cuivre laminé le plus pur, est dur, homogène, non poreux et très-malléable. Les chefs de cette fabrique, ne se contentant pas de la différence apparente qu'offrent les deux métaux à la première vue, nous ont fait assister à une expérience que nous ne pouvons passer sous silence, parce qu'elle confirme nos appréciations précédentes. Dans cette expérience, M. H. Bouilhet a employé un disque d'un demi-millimètre d'épaisseur de cuivre galvanique provenant des bains gélatineux pour fermer l'extrémité d'un cylindre de bronze, dans lequel

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on pouvait injecter de l'eau au moyen d'une pompe foulante. De cette manière on a pu atteindre une pression de 20 atmosphères sans voir apparaître le liquide au dehors. En substituant à cette plaque une plaque de même épaisseur en cuivre fondu, on l'a vue se dilater, puis se fendre sous une pression inférieure à celle de 12 atmosphères. Bien que l'influence que la gélatine exerce sur la constitution moléculaire du cuivre, influence constatée par cette expérience, soit presque mystérieuse, on nous a assuré, en outre, qu'elle est constante et très-positive.

On conviendra que, sous le point de vue industriel, les faits que nous venons de rapporter ont une signification d'une haute valeur. En raffermissant et en élargissant le domaine de la Galvanoplastie, ils répondent victorieusement à toutes les objections élevées contre la solidité de ses produits.

Il convient de relever encore un autre point qui n'a pas été sans importance dans le développement industriel de la Galvanoplastie. En exposant le cuivre galvanique, comme on le produisait autrefois, à des températures élevées, on avait fait souvent la fâcheuse expérience de le voir se déjeter, se déformer et se boursoüffler, de manière que sa soudure à la soudure forte, et que souvent même, le renforcement des clichés ou plaques gravées galvaniques avec l'alliage des caractères d'imprimerie n'ont pu être effectués sans difficulté. M. H. Bouilhet a bien voulu nous faire voir que ces inconvénients disparaissent complétement, si l'on a la simple précaution de ne jamais interrompre l'action du courant, de le maintenir aussi constant que possible, et de ne jamais faire sortir le dépôt du bain où il se produit, et surtout de ne pas l'exposer à l'air libre. Non-seulement il peut soumettre son cuivre à la température de fusion du cuivre jaune, mais encore à celle de tous les émaux dont le point de fusion est au-dessous de celui du cuivre. Ces conditions sont d'autant plus faciles à remplir que les surfaces sur lesquelles on opère sont plus étendues, et que la grandeur des bassins favorise singulièrement la constance

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du courant. On a acquis une telle habitude dans la préparation des moules et dans la main-d'œuvre qu'on est toujours sûr de son fait, et qu'on n'a plus besoin d'observer avec anxiété, comme autrefois, la formation des dépôts avant leur achèvement. Cette certitude du succès, n'a du reste, été acquise que graduellement ; il a fallu du temps pour donner à la Galvanoplastie un véritable caractère industriel et pour étendre son domaine.

§ 2. — Galvanoplastie massive.

Sans la confiance que MM. Christofle avaient dans la bonne qualité de leurs cuivres, la belle industrie de la *Galvanoplastie renforcée ou massive,* exploitée par eux avec tant de succès depuis 1853, n'aurait pu être créée. En effet, pour remplacer entièrement la fonte ciselée par la coquille galvanique, il faut qu'elle ait une épaisseur convenable, ce qui en augmente le prix et ralentit en même temps la production ; de plus, cette coquille reproduisant avec fidélité le moule sur lequel le cuivre se dépose, présente en creux à l'intérieur tous les reliefs de l'extérieur, et ne se prête pas avec avantage à certaines applications où la fonte est employée ordinairement. M. H. Bouilhet y a remédié en remplissant l'intérieur de la coquille d'une fonte de laiton plus fusible que le cuivre. La Galvanoplastie prend de cette manière toute l'apparence et la solidité d'une œuvre en bronze, en conservant toutefois à l'extérieur l'aspect fin et délicat du premier modèle.

De grandes applications ont été faites de cette galvanoplastie massive, et non-seulement dans la fabrication courante, mais encore dans des œuvres destinées à rester comme spécimens de l'art de notre époque. On peut citer, entre autres, les appartements de l'Impératrice, aux Tuileries, décorés par M. Lefuel, qui possèdent de véritables chefs-d'œuvre de ce genre rivalisant avec les plus fines ciselures du siècle dernier. Ce procédé a produit une véritable révolution dans la décoration des meubles. Outre les huit tableaux spécimens des princi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

paux modèles exécutés en galvanoplastie massive par cette maison et servant à la décoration des meubles, de la verrerie, de la porcelaine et du marbre, nous avons vu encore à l'Exposition des bas-reliefs, des cadres pour portraits photographiés, etc.

On trouvait l'application de ce genre de produits dans les expositions de Sèvres, de Baccarat, de MM. Grohé, Roux, Viot et C^ie^, Graux-Marly, etc.

§ 3. — Moulage.

Nous dépasserions le cadre de notre exposé si nous voulions entrer dans la description des différents procédés de moulage employés dans la galvanoplastie. C'est sans contredit un sujet de haute importance au point de vue technique. En effet, sans l'invention des moules élastiques, dans la confection desquels le gutta-percha occupe la première place, la Galvanoplastie aurait été obligée de se borner à la reproduction d'objets de dépouille. L'introduction de cette substance en Europe, arrivée très à propos pour intervenir autant dans la télégraphie électrique que dans la galvanoplastie, est un de ces faits presque providentiels que l'on rencontre parfois dans l'histoire des découvertes et des inventions.

Le bas-relief en cuivre argenté représentant la Sainte-Catherine, et exposé par nous dans la section russe du Palais de l'Exposition, est la reproduction d'un bas-relief en cuivre repoussé d'un très-beau travail italien. A la clôture de l'Exposition, cette reproduction, qui date de l'année 1839, a dû être transportée au Conservatoire des arts et métiers de Paris, pour faire partie des collections historiques de cet établissement; mais ce n'est pas sa perfection, c'est précisément son imperfection qui lui vaudra cette place. A l'époque où elle fut faite les moules élastiques n'avaient pas encore été inventés. Pour être en mesure de reproduire ce modèle dans lequel il y avait des parties sans dépouille, nous nous vîmes obligé, bien à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

contre cœur, de faire repousser ces parties, de manière que ce beau modèle, comme on peut le remarquer dans la reproduction, a perdu quelque peu de sa valeur au point de vue artistique. De pareils mutilations ne pourront plus se présenter ; aussi n'avons-nous voulu donner cet exemple que pour rappeler à la génération actuelle les difficultés contre lesquelles avaient eu à lutter ses prédécesseurs.

§ 4. — Galvanoplastie en ronde bosse.

Pour achever la conquête du domaine qui avait été réservé jusque-là exclusivement à la fonte, il fallait encore trouver des procédés facilitant l'application de la galvanoplastie à la ronde bosse. Nous ne pouvions mieux mettre en évidence les perfectionnements faits à ce sujet qu'en renvoyant le lecteur à la communication dans laquelle M. H. Bouilhet a rendu compte de ces perfectionnements à la Société d'Encouragement dans sa séance du 10 mars 1866. L'auteur y a fait connaître toutes les difficultés qui s'étaient opposées d'abord à la reproduction par la galvanoplastie des bustes, des statues et des groupes en moules fermés. Grâce à l'emploi du plomb comme anode insoluble, ce problème a reçu, il y a deux ou trois ans, une solution des plus satisfaisantes. Pendant notre séjour à Paris en 1859-60, nous avions vu une batterie de polarisation de grande intensité inventée par M. Planté, dans laquelle le plomb avait été substitué au platine dont nous avions fait nous-même autrefois une application analogue. M. H. Bouilhet nous apprend que, grâce à ces recherches, et au concours intelligent de M. Sonolet, ingénieur de l'établissement, il a pu remplacer, avec le plus grand succès, la carcasse en fil de platine, invention ingénieuse de M. Lenoir, mais présentant beaucoup d'inconvénients dans la pratique, par des carcasses en plomb se prêtant facilement aux formes les plus compliquées, et se distinguant aussi bien par leur inaltérabilité dans les bains de cuivre que par la modicité de leur prix et la souplesse du métal. Mais un des plus grands

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avantages de cette méthode consiste dans la très-grande régularité du dépôt ; on l'obtient partout d'égale épaisseur, parce que chaque point de l'épreuve est maintenu toujours à une distance égale de l'anode.

Quant aux statues et aux autres pièces importantes exécutées par ce procédé, et qui ont figuré à l'Exposition dans le Parc, et dans les classes 3, 21 et 40, nous ne pouvons les énumérer toutes, et nous renvoyons à cet effet au catalogue des objets de galvanoplastie exposés par la maison Christofle et C^ie^. Mais nous voulons mentionner leurs très-grands travaux, des figures colossales de 4 à 5 mètres de hauteur, qui leur ont été commandées pour le nouvel Opéra, et que nous avons vues en voie d'exécution.

Sur l'invitation des chefs de cette maison , nous avons visité leurs ateliers en compagnie de S. A. I. le duc de Leutchtenberg. Nous avons vu sortir de son moule de gutta-percha le *Milon de Crotone* exposé plus tard dans le Parc. Nous avons plusieurs fois visité ces ateliers à l'improviste, et même encore le jour de notre départ de Paris; nous avons continuellement trouvé les grands bassins remplis de moules fermés dans lesquels se produisaient les dépôts en ronde bosse, et d'autres moules épars dans lesquels les dépôts étaient achevés et qu'on avait enlevés de ces bains. Parmi ces moules, on a voulu nous laisser le choix pour en faire sortir les rondes bosses qu'ils contenaient ; nous avons choisi les moules les plus compliqués, et nous affirmons n'avoir pas trouvé une seule fois les procédés employés en défaut. En dehors des ouvertures nécessaires pour favoriser la circulation des bains, et destinées en même temps à laisser échapper le gaz oxygène qui se dégage à la surface des anodes, nous n'avons jamais trouvé de trous ou de défectuosités comme nous en avions vu autrefois dans les tentatives faites pour obtenir des rondes bosses. Autant que nous avons pu examiner l'intérieur de ces pièces, nous avons observé avec plaisir l'uniformité du dépôt, sa belle couleur rose et l'absence des accumulations mammil-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

laires exagérées aux sinuosités. Pour l'achèvement de ces rondes bosses il n'y a plus qu'à fermer les ouvertures dont nous venons de parler, réparer les coutures du moule et nettoyer légèrement les surfaces au papier d'émeri. Aussi, la statue de *Milon de Crotone* s'est-elle trouvée installée dans le Parc une ou deux semaines après le démoulage auquel nous avions assisté, ce qui certainement n'aurait pu être fait si l'on avait voulu employer la fonte à la reproduction de ce monument. Nous aimons à croire que ces preuves suffisent pour donner aux artistes, jaloux de voir leurs œuvres reproduites avec fidélité et sans trop de retard, une pleine confiance dans les ressources que la Galvanoplastie met à leur disposition.

Les progrès que nous venons de signaler sont les plus remarquables qui se soient réalisés, ces dernières années, dans le domaine de la galvanoplastie du cuivre. Si ces progrès ont trouvé leur point de départ, leur utilisation et leur manifestation la plus éclatante dans l'usine de MM. Christofle, il est certain que ces succès sont dus à leurs connaissances spéciales et à l'étude assidue des phénomènes qui se sont présentés à eux dans leurs opérations.

§ 5. — Cuivrage galvanique. Établissement de M. Oudry.

Parmi les autres établissements où la Galvanoplastie est exploitée industriellement, nous nommons en première ligne l'usine électro-métallurgique d'Auteuil de M. Oudry, qui a rempli de ses produits tout un pavillon construit à part dans le Parc du Champ-de-Mars. Nous n'avons pas sous la main le catalogue des objets exposés par cet habile industriel. Outre des bustes et quelques statues, parmi lesquels nous mentionnons particulièrement la *Venus de Milo*, nous avons vu avec beaucoup d'intérêt la reproduction des grands bas-reliefs de l'arc-de-triomphe de Constantin, qui ont $3^{m}60$ de haut sur $2^{m}50$ de large, et qui comprennent un grand nombre de personnages plus grands que nature. L'exécution de tous ces tra-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vaux obtenus par le moulage en gutta-percha, ne laisse rien à désirer. Dans la notice sur la Galvanoplastie, publiée par M. Oudry, l'auteur ne nous a cependant pas fait connaître si ses rondes bosses ont été déposées dans des moules fermés ou dans des coquilles rapportées après coup par la soudure. Dans une visite faite à l'usine d'Auteuil, nous n'avons pas eu occasion de décider cette question. Il n'y avait alors aucune ronde bosse en voie d'exécution. Les grands bassins de cet établissement étaient occupés par des travaux de commande d'un tout autre genre.

L'industrie de M. Oudry, comme on sait, consiste principalement dans une large application du cuivrage galvanique pour la décoration et la préservation de la fonte et du fer. Quoique cette industrie ne soit pas de la galvanoplastie proprement dite, nous ne pouvons la passer sous silence, d'autant moins qu'elle est arrivée à un caractère presque monumental. En effet, les candélabres à gaz de la ville de Paris, faits en fonte de fer d'après un très-joli modèle, et dont le nombre est très-considérable, sont aujourd'hui tous, ou en plus grande partie, recouverts d'une couche de cuivre épaisse et bien adhérente, qui leur assure une durée presque égale à celle du bronze. Les procédés de M. Oudry ont largement contribué à l'embellissement de Paris; ils ont servi, entre autres applications, au cuivrage galvanique des fontaines de Vénus et de Diane aux Champs-Elysées, de la belle fontaine de Visconti au square Louvois, de la fontaine des Quatre-Saisons, de la vasque qui est derrière le palais de l'Elysée, des deux grandes fontaines monumentales de la place de la Concorde, des huit colonnes rostrales et de tous les grands lampadaires qui ornent cette belle place et ses abords.

Le cuivrage galvanique, du reste, s'applique exclusivement aux monuments publics exposés à toutes les intempéries de l'air et dans lesquels on cherche moins le fini des détails que l'effet général.

Il convient de remarquer que, à cause des grandes difficultés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que présente le décapage parfait de la fonte et même du fer, le cuivrage de ces métaux a été longtemps sans avoir pu obtenir une signification industrielle. Aussi, au double point de vue de la théorie et de l'économie, nous ne pouvons pas approuver le procédé de cuivrage direct employé par la Société générale des revêtements métalliques, dont nous avons vu à l'Exposition des échantillons de belle apparence, mais dont la solidité n'a pas encore été éprouvée suffisamment par l'expérience. M. Oudry a écarté les difficultés dont nous venons de parler et notamment celles qui proviennent des actions galvaniques dues au contact de deux métaux différents, en interposant entre la fonte et la couche de cuivre un enduit isolant métallisé ensuite par la plombagine et sur lequel le cuivre se dépose.

§ 6. — Ouvrages de divers exposants.

Dans la section russe, M. Fédorowsky a exposé des objets exécutés dans l'établissement galvanoplastique de Cronstadt, et appartenant pour la plupart à la chaudronnerie de cuivre. Ces produits consistent en tuyaux droits sans soudure de 3^{mm} jusqu'à 240^{mm} de diamètre intérieur, et dont les parois ont des épaisseurs de $0^{mm}75$ à $9^{mm}5$, en tuyaux à trois branches, en tuyaux coudés et à double courbure, parmi lesquels il y en a qui ont jusqu'à $0^{m}63$ de diamètre intérieur et une épaisseur de $1^{mm}25$ avec une longueur de plus de 2 mètres. Toutes ces pièces sont remarquables au point de vue du dépôt métallique qui semble très-régulier; leurs formes, souvent très-compliquées, n'auraient pu être exécutées que très-difficilement au marteau ou par la fonte. D'après sa déclaration, M. Fedorowski pourrait déposer journellement au besoin jusqu'à 100 kilogrammes de cuivre par sa méthode et dans les bassins dont il dispose. Il emploie avec avantage une disposition économique des appareils de galvanoplastie, indiquée par nous depuis l'année 1844, et qui consiste à faire servir l'un des bassins

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

comme batterie, en plaçant vis-à-vis du zinc le moule à reproduire ou à recouvrir de cuivre, tandis que dans l'autre se trouvent les anodes de cuivre vis-à-vis d'autres moules pareils. On réunit dans ce cas le zinc du premier bassin au moule du second, et l'anode du second bassin au moule du premier. M. Fédorowski nous a communiqué également qu'on a essayé la résistance d'un de ses tuyaux de $0^m 07$ de diamètre et d'une épaisseur des parois de $0^m 0048$ par la presse hydraulique, et qu'il a soutenu une pression de 25 kilog. par centimètre carré. Les tuyaux coudés auraient supporté la même pression. L'application de la galvanoplastie à ce genre de travaux ne se recommande pas au point de vue de l'économie; elle aura plus d'intérêt, dès qu'on aura réussi à remplacer l'emploi de la pile par celui de la machine magnéto-électrique.

L'exposition de MM. Lionnet frères, établie dans un pavillon du Parc, ne présente rien de particulier sous le point de vue de la nouveauté des procédés. Ils utilisent la galvanoplastie pour produire des statues et des statuettes, des pendules, coupes, flambeaux, bas-reliefs, bijoux, etc., enfin tout ce qu'on appelle ordinairement à Paris « *le petit bronze* ». Leur industrie est assez développée et leurs produits sont de bonne exécution.

Nous regrettons de n'avoir pas pu nous procurer des renseignements suffisants sur deux exposants de Copenhague : MM. Mœller et Drewsen, dont les productions sont dignes d'attention. Ils ont présenté surtout des objets d'orfévrerie argentée et, nous le croyons, des objets d'argent massif. Ils ont fait une large application des procédés galvanoplastiques, en se servant, comme on nous l'a dit, de moules en cuivre pour les objets de commerce dont le débit est assuré. On trouve dans leur exposition des plats, des casseroles, des gobelets à boire, exécutés presque entièrement en galvanoplastie; ils ont évité par là les travaux de l'orfévre, et ont donné à des objets d'un usage courant un caractère particulier et nouveau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a un certain nombre d'années, nous visitâmes, pendant un séjour que nous fîmes à Paris, le laboratoire de M. Gueyton, un des premiers qui ait déposé le cuivre dans des moules élastiques d'une composition gélatineuse. Son industrie se bornait principalement à la confection de porte-cigares, de porte-monnaie, etc., qui, pendant quelque temps, eurent beaucoup de vogue. M. Bertrand, successeur de M. Gueyton, a exposé de très-jolies choses en ce genre, ainsi que des objets en cuivre argenté par les procédés connus qu'il applique sur des produits qui ne sont pas de sa propre fabrication.

Quant à l'exposition splendide de MM. Elkington, de Birmingham, nous n'avons pas pu nous procurer les explications que nous aurions désirées concernant l'application qu'ils ont faite de la galvanoplastie dans leur grand établissement, non plus que sur le mode de moulage qu'ils emploient. Cependant les spécimens, indubitablement de provenance galvanoplastique, que nous avons examinés, montrent suffisamment le haut degré de perfection qu'ils ont atteint. Ce qui nous a beaucoup intéressé dans leur exposition, ce sont les exemples très-réussis d'émaillage sur cuivre galvanique et les pièces complètes exécutées de cette manière. Ces produits sont bien supérieurs aux émaux sur cuivre de M. Feuquières, restés à l'état d'essai, et dont il prétend posséder seul le secret. En effet, nous avons déjà fait observer que l'émaillage du cuivre galvanique est une pierre de touche pour l'homogénéité et la régularité du dépôt qui doivent être très-grands, afin de résister aux cuissons nombreuses que doit subir une pièce émaillée.

Nous avons été étonné de ne pas trouver en Italie la galvanoplastie représentée par des reproductions tant soit peu dignes d'attention, tandis que nous savons positivement qu'il y a, à Gènes, à Florence, à Milan, à Turin, à Naples et même à Rome des laboratoires et des ateliers qui s'occupent avec succès de cette industrie. Nous avons fait la même remarque à l'égard des États d'Allemagne, y compris la Prusse. On a, particulière-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment, dans ce dernier pays, une prédilection pour le petit bronze en zinc recouvert après coup d'une couche de cuivre ou bien d'une peinture quelconque. Ces produits sont bon marché, mais souvent bien laids. Ils sont faits, pour la plupart, en pièces assemblées avec des vis ou réunies par la soudure. La fonte, du reste, en est excellente, et ces produits en zinc n'exigent que très-peu ou même point de retouches.

Dans la section prussienne, nous avons remarqué une très-belle collection de fougères et d'autres objets de botanique qui ont été recouverts, nous le supposons, dans leur état naturel, d'une couche de cuivre galvanique, à laquelle l'exposant, M. Bescaven Ibbesson, a su donner, probablement par la voie chimique, les couleurs naturelles et brillantes de ces plantes.

§ 7. — Musées de South-Kensington (Londres), de Vienne (Autriche).

Bien que notre temps n'ait pas encore su se créer un style nouveau, notamment en architecture et en sculpture décorative, il n'y a qu'une seule opinion sur l'importance de la vulgarisation du bon goût et du sentiment du beau, et sur l'influence que les beaux-arts exercent sur l'éducation et sur l'adoucissement des mœurs, je ne veux pas dire l'amollissement que nous rencontrons plutôt chez les peuples les moins développés au point de vue moral et intellectuel. Un des moyens les plus puissants pour parvenir à cette vulgarisation, ce sont les musées publics où, faute d'originaux toujours très-rares et très-coûteux, nous voyons réunies méthodiquement les copies en plâtre de tous les chefs-d'œuvre de l'art antique, du moyen âge, de la renaissance, de tous les siècles et de tous les pays. Mais ces plâtres, dont le transport d'un endroit à l'autre n'est pas sans difficultés, dont le prix est assez élevé dès qu'ils sont exécutés avec soin, n'offrent ni solidité ni durée; ils sont difficiles à conserver, se détériorent par l'usage et ne peuvent servir longtemps de sujet d'étude aux élèves. Si l'on substitue

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à ces plâtres des cuivres galvaniques, nous verrons dorénavant dans ces musées des reproductions d'une fidélité absolue, d'une solidité à toute épreuve et d'un prix modéré. L'industrie ne manquera pas de s'occuper des reproductions de ce genre dont l'échange, entre les différentes collections, produira les résultats les plus heureux. Le musée de South-Kensington, à Londres, a donné, sous ce rapport, un exemple des plus louables en rassemblant au Palais de l'Exposition une collection magnifique de reproductions galvanoplastiques des chefs-d'œuvre de l'armurerie provenant du musée d'artillerie de Paris et de la collection des armes de l'Empereur, etc., et d'un nombre considérable d'objets les plus remarquables du XV^e^ et XVI^e^ siècle. Nous y avons admiré de même la reproduction de la grande *Porta di San Ranieri*, exécutée en 1180, par Bonnanno, à Pise. La reproduction de cette porte, et notamment l'ajustement des pièces dont elle se compose, laissent à désirer; si nous en faisons la remarque, c'est dans l'espérance qu'elle contribuera peut-être à faire traiter à l'avenir les détails avec les soins nécessaires. Les objets mentionnés ont été faits pour la plupart par MM. Elkington, de Birmingham. Ajoutons que le même musée a fait exécuter, pour les monuments qu'il construit, une porte sur des modèles spéciaux, composés par Godfrey Sikes et exécutés par John Gamble et Reuben Townroe. Cette porte est formée des bas-reliefs reproduits en galvanoplastie par M. Franchi et fils, de Londres.

Le musée d'art et d'industrie de Vienne (Autriche) a suivi la même voie en présentant aussi, mais sur une échelle plus restreinte, une série de moulages galvanoplastiques intéressants au point de vue de l'art, et exécutés avec une grande perfection à l'institut de galvanoplastie de M. Haas.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

GRAVURE ET IMPRIMERIE.

§ 1. — Reproduction et aciérage des planches gravées.

Parmi les applications de la galvanoplastie, celles qui se rapportent à la gravure et à l'imprimerie occupent une place très-importante. On se rappelle que les graveurs avaient eu longtemps de la répugnance à confier leurs œuvres aux mains des galvanoplastes pour en faire des copies. Ils craignaient, avec raison, de voir détériorer leurs planches gravées, par une trop forte adhérence du dépôt galvanique. Des tours de main très-simples ont fait disparaître cette crainte. Aujourd'hui on n'emploie plus, pour le tirage, les planches gravées originales, mais bien des copies galvaniques fidèles et identiques qu'on peut multiplier à volonté, de manière que les tirages qu'on obtient ont presque tous la valeur des *épreuves avant la lettre* d'autrefois. En outre, les bains de cuivre employés aujourd'hui fournissent, comme nous l'avons dit plus haut, des cuivres d'une plus grande dureté, et, si on applique encore aux planches de cette provenance l'*aciérage* galvanique, on peut en obtenir un nombre de tirages presque illimité.

La reproduction des planches gravées se fait très-bien en Allemagne, surtout à Vienne, à Gotha chez Perthes et Besser, en Angleterre, en Amérique, et en France chez MM. Christofle et C^ie^. Le bon marché actuel des atlas géographiques est dû uniquement aux procédés de la galvanoplastie, qui ont ainsi contribué puissamment à l'instruction et à la divulgation des connaissances utiles.

Il n'y a pas aujourd'hui d'imprimerie de quelque importance qui n'ait son laboratoire de galvanoplastie pour reproduire les moules servant à la fonte des caractères typographiques, ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour se procurer des stéréotypes, des clichés, etc. La reproduction des planches xylographiques se fait aujourd'hui uniquement par la galvanoplastie, et est devenue l'objet d'une immense production. Il n'est pas, en effet, une publication illustrée, ni un pays où ce mode de reproduction ne soit employé; il se fait un échange très-considérable de clichés galvaniques entre les différents éditeurs.

§ 2. — Billets de banque, timbres-poste.

Les timbres-poste, les cartes à jouer, les billets de banque et autres papiers publics s'impriment aujourd'hui presque exclusivement sur des clichés galvaniques, soit par la presse typographique, soit par celle qui sert à l'impression des planches en taille-douce. Ce sont des applications d'une haute importance. Si l'on considère la consommation toujours croissante des timbres-poste, on doit avouer que ce système de perception du port des lettres n'aurait pu ni prendre un développement aussi grand, ni présenter la sécurité nécessaire sans l'intervention des procédés de la galvanoplastie. Les clichés galvaniques pour les timbres-poste, etc., se font aujourd'hui partout avec une grande perfection et à l'égal de ceux exposés en France dans la classe 6 (1). Ces clichés, bien qu'ils ne présentent rien de particulier, sont d'une fabrication irréprochable et ont valu une distinction honorifique à M. Hulot qui s'occupe depuis bien des années de cette industrie.

En ce qui concerne la fabrication des billets de banque, la confection des clichés servant à leur impression se fait par voie galvanique depuis l'année 1839 à l'Imprimerie impériale des papiers d'État de Saint-Pétersbourg; elle a été certainement la première application industrielle qui ait été faite de la galvanoplastie.

(1) Voir le rapport de la classe 6, par M. Paul Boiteau, et celui de la classe 8, par M. Baltard.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Mentionnons encore que dans ce genre de travaux on emploie souvent avec avantage un moulage particulier dû à M. Aüer, de Vienne; son procédé consiste à employer une forte presse hydraulique pour obtenir l'impression en creux, sur des planches de plomb, de types gravés en relief ou d'autres objets de peu de saillie. On reproduit de cette manière les traits les plus déliés de l'original. Comme ces planches se font facilement et peuvent servir à remplacer les matrices en cuivre galvanique, on conçoit que ce procédé est économique sous le double point de vue du travail et de la dépense.

§ 3. — Fabrication des faïences décorées.

Des industries importantes, telles que la fabrication des faïences et poteries décorées, font une grande application de la galvanoplastie. Les planches gravées servant à faire les décalques des dessins à transporter sur leurs poteries sont toutes reproduites par ce procédé. Il est tel dessin qui, tiré à plusieurs centaines de mille exemplaires, aurait exigé la gravure de nombreuses planches, et par conséquent des dépenses très-considérables qu'on économise aujourd'hui par l'intervention de nos procédés. C'est par plusieurs milliers de kilogrammes qu'il faut compter la production du cuivre pour cet usage. Une seule usine à Sarreguemines fait plus de 1,200 kilogrammes de planches galvaniques par année, uniquement pour sa propre consommation.

§ 4. — Procédés de gravures (1).

On nous a signalé deux exposants dont nous regrettons de n'avoir pas pu examiner les produits. L'un deux, M. Martin, de Paris, a exposé des gravures et des caractères d'imprimerie augmentés et réduits par un procédé intéressant. Ce procédé est

(1) Voir le Rapport de la classe 6.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fondé sur la propriété qu'a la gélatine d'augmenter de volume dans l'eau et de diminuer dans l'alcool. Les moulages, agrandis ou réduits très-régulièrement, sont ensuite plongés dans des bains de cuivre d'une composition spéciale dont il a le secret, et dans lesquels il dépose du cuivre parfaitement homogène et pouvant servir au tirage par la presse.

L'autre est M. Dulos. On a inventé, dans les derniers temps, plusieurs procédés de gravure qui ont tous pour but de remplacer le burin de l'artiste par la galvanoplastie employée seule ou concurremment avec des procédés chimiques. Le plus intéressant de ces procédés, qui paraît aussi le plus complet, est celui de M. Dulos qui, par un habile emploi de dépôts d'argent et de fer, détermine des saillies sur le dessin fait sur une planche de cuivre, au moyen de l'adhérence d'un amalgame d'argent. La reproduction galvanique des reliefs ainsi obtenus permet, suivant les précautions prises et les opérations faites, d'obtenir une planche gravée en taille douce ou en relief pour l'impression typographique. Des produits obtenus par ce procédé ont été exposés dans la classe 95 et ont mérité une haute récompense à leur auteur.

CHAPITRE III.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DE L'OR, DE L'ARGENT, DU FER, ETC.

§ 1. — Dorure et argenture galvaniques.

La dorure et l'argenture galvaniques sont représentées au Champ-de-Mars d'une manière digne de l'immense développement que ces industries ont pris depuis leur début, il y a vingt-cinq ans à peine. Si la première a remplacé presque entièrement la dorure au feu, l'argenture galvanique a, de son côté, fait disparaître en peu de temps le plaqué d'argent; elle a de plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

étendu son action sur des domaines qui avaient été toujours inaccessibles à l'industrie du plaqué, industrie dont l'Angleterre, en particulier, avait gardé le privilége.

Les procédés employés dans les industries dont nous parlons ont donné des résultats si remarquables, qu'il n'y a pas lieu de s'étonner qu'il se soit manifesté un moment d'arrêt dans le perfectionnement de ces procédés. S'il y a encore un désidératum ou plutôt un caprice des amateurs à satisfaire, c'est qu'on n'a pas encore pu atteindre, par la dorure galvanique, toute la beauté et la délicatesse du mat du siècle passé, produit par la dorure au feu. C'est à ce seul point de vue que nous pouvons attribuer une certaine importance, très-restreinte cependant, aux procédés de la dorure au mercure par la pile. Les produits obtenus par ces procédés ont été exposés par M. Masselotte. Nous ignorons s'il emploie les mêmes procédés ou des procédés analogues à ceux qui ont été honorés d'un grand prix dans la personne de M. Dufresne. Cette haute distinction est d'autant plus inconcevable que personne ne désire un retour à la dorure au feu qu'on s'est félicité d'avoir pu abandonner. Nous constatons en outre que l'amalgamation à la pile, avec des sels de mercure quelconques, a été employée il y a quinze ou vingt ans dans quelques cas exceptionnels, dans l'usine de galvanoplastie de feu S. A. I. monseigneur le duc de Leuchtenberg, à Saint-Pétersbourg, et dans celle de MM. Christofle et C^ie^, à Paris, sans que ni l'un ni l'autre des chefs de ces usines aient voulu y attacher quelque importance ou s'en faire un mérite quelconque. Mais, dans le cas même où la dorure galvanique devrait renoncer à cette spécialité, qui est du reste une affaire de mode, elle est assez riche en ressources pour pouvoir mettre à la disposition de l'orfévrerie d'autres moyens précieux pour effectuer des ornementations que la dorure au feu ne pourrait que difficilement ou même pas du tout reproduire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2. — Dorures polychromes.

Nous ne mentionnons à cet égard que les dorures polychromes ou dorures à différentes nuances de couleur, dont on trouve des spécimens très-élégants dans les expositions de MM. Christofle et Cie et de MM. Elkington. Les procédés par lesquels on obtient ces produits ne sont pas sans présenter quelque intérêt scientifique. Il s'agit là de la décomposition électro-chimique des bains composés de différents métaux. Dans une note lue à l'Académie de sciences de Saint-Pétersbourg, en 1844, nous avons indiqué, le premier, le moyen de produire des dépôts galvaniques d'un alliage de cuivre et de zinc. Bien que la théorie de ces décompositions, notamment à proportions déterminées, soit loin d'être établie, la pratique a su s'en emparer et les utiliser même à leur état d'imperfection. En mélangeant convenablement des bains alcalins d'or et d'argent ou d'or et de cuivre, et en prenant des anodes de ces alliages, on est en mesure de produire une grande variété de tons d'or vert ou d'or rouge qui permettent d'obtenir des effets que les artistes de l'époque de Louis XVI n'ont pu produire que par la fonte et la ciselure de différents alliages de métaux précieux.

§ 3. — Emaux cloisonnés.

Une fois sur le terrain, nous ne pouvons point passer sous silence trois autres applications artistiques, qui ont pris naissance dans l'établissement de MM. Christofle et Cie, presque pendant l'Exposition même. Nous voulons parler d'abord des essais faits avec succès dans le but d'imiter le procédé employé par les Chinois pour faire leurs émaux cloisonnés sur cuivre. On sait que ce procédé consiste à contourner à la main de petites bandelettes de cuivre mince et à les appliquer sur les surfaces à décorer,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en remplissant ensuite avec de l'émail les intervalles, c'est-à-dire les cloisons obtenues. Les prix de ces objets sont très-élevés ; ils reviendront à bien meilleur marché si l'on parvient à obtenir ces émaux dans des cloisons déposées par la galvanoplastie.

§ 4. — Damasquinage galvanique.

Le damasquinage galvanique par incrustation est la seconde de ces applications ; c'est encore une ancienne spécialité des Chinois et des Japonais. Les mêmes effets ont été reproduits aujourd'hui par un ensemble de moyens électro-chimiques et galvanoplastiques. L'argent ou l'or déposé dans le creux des gravures faites à l'eau forte, forment sur ces produits une couche d'une épaisseur suffisante pour durer autant que la pièce elle-même. Le métal précieux est exactement au même plan que le bronze, de telle sorte que, en passant la main à la surface, on ne sent aucune saillie ; c'est là le mérite de ce genre de travail qui est une incrustation véritable.

§ 5. — Guillochage électro-magnétique.

Enfin, il faut dire quelques mots du guillochage électro-magnétique. Une partie des vitrines de MM. Christofle et C^ie^ est consacrée aux produits décorés par ce procédé. Au moyen d'une machine à guillocher, dans laquelle le burin est mis en mouvement par un électro-aimant, ils obtiennent des dessins en relief qui doivent être brunis, tandis que le fond conserve le mat donné par le guilloché. Ce sont de très-jolis effets qu'on peut produire ainsi sur certaines pièces d'orfévrerie. La machine employée au guillochage électro-magnétique, et dont le pantélégraphe de l'abbé Caselli a donné l'idée, a été inventée et parfaitement bien exécutée par M. Margot Delafosse.

§ 6. — Applications de la dorure galvanique.

Il nous est impossible d'énumérer tous les exposants qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exploitent la dorure et l'argenture galvaniques pour l'embellissement de leurs produits. Nous nommerons cependant M. Broggi, de Milan, qui a appliqué des dépôts d'or et d'argent sur des objets d'orfévrerie obtenus par les moyens ordinaires, mais exécutés avec beaucoup de goût.

Nous avons vu aussi avec plaisir l'exposition de M. Besançon, arrivée trop tard pour avoir place au Catalogue. Elle consiste en cadres artistiques et religieux, boutons, parures pour dames, etc. M. Besançon ne fabrique pas lui-même les cadres qui lui sont fournis par M. Millet, mais il sait produire de charmants effets par le platinage et par des couches très-légères d'or de différentes couleurs déposées dans le creux d'une espèce de gravure faite au poinçon sur des calques. La couche de platine étant plus dure que ne le serait une couche d'argent, ne se ternit pas aussi facilement que ce dernier métal, et la couche d'or se trouvant dans le fond des gravures, il en résulte que ces objets se conservent bien et résistent mieux aux frottements.

De larges applications des procédés de la dorure et de l'argenture galvaniques se font encore dans la petite industrie, la quincaillerie, la bijouterie fausse et dans ce qu'on appelle « les articles de Paris. » Eu égard au bas prix de ces marchandises, soumises aux fluctuations de la mode et destinées à ne satisfaire que les caprices du moment, il ne serait ni à propos ni même possible de leur appliquer des couches épaisses des métaux précieux. Cependant ces couches, quelque mince que soit leur épaisseur, possèdent encore une solidité suffisante: Les procédés électro-chimiques s'exécutent dans les laboratoires destinés à ces industries, par la main de simples ouvriers, avec une habileté surprenante. Tous les appareils étant disposés d'une manière très-pratique et les bains convenablement chauffés, nous avons vu dans l'établissement de M. Besançon, dans l'espace de quelques minutes, de gros bouquets de fleurs, de feuilles et d'épis faits en feuilles très-minces de cuivre et provenant d'une autre usine, décapés,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rincés, puis argentés, puis rincés de nouveau, puis élégamment dorés, puis rincés encore, séchés ensuite et prêts à être livrés au commerce. On aurait peine à imaginer quelle immense quantité de métaux précieux se consomme de cette manière, et il serait intéressant d'en faire le relevé.

Une note qui nous a été communiquée, sur notre demande, par MM. Christofle et Cie, contient des données curieuses sur la consommation de l'argent dans leur usine, et ne sera pas déplacée dans ce mémoire.

En 1866, le chiffre d'affaires de cette maison s'élevait à 7,917,646 francs, et il a été déposé dans l'année 5,385 kilogrammes d'argent.

Depuis 1845, date de la création de l'établissement, le chiffre des affaires faites s'élève à plus de 107 millions de francs, et, dans ce même laps de temps, il a été déposé 77,697 kilogrammes d'argent qui, à l'épaisseur adoptée ordinairement pour l'argenture de leur orfévrerie, pourrait couvrir un espace de 500,000 mètres carrés, c'est-à-dire la superficie occupée par toute l'Exposition universelle de 1867, au Champ-de-Mars. Depuis la même époque, il a été argenté plus de huit millions de couverts, qui ont retiré de la circulation 48,000 kilogrammes d'argent, valant seulement 10 millions et demi de francs, tandis qu'une pareille quantité de couverts, exécutés en argent massif, eût fait disparaître de la circulation 1,500,000 kilogrammes d'argent, c'est-à-dire plus de 300 millions de numéraire.

§ 7. — Galvanoplastie d'argent massif.

Dans ce qui précède, nous avons fait connaître le développement et les progrès de la galvanoplastie du cuivre, ainsi que les nombreuses applications industrielles des dépôts de ce métal et des métaux précieux sur les métaux plus oxydables et communs. Cependant les procédés de la galvanoplastie sont intervenus récemment dans la fabrication des objets d'art et de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

luxe en argent massif. Cette fabrication s'exerce sur une grande échelle, et elle paraît être usitée exclusivement en Hollande, à Voorschoton, près la Haye, dans la fabrique royale néerlandaise d'orfévrerie de M. J.-M. van Kempen. Les échantillons de cette fabrication, que nous avons vus à l'Exposition, nous ont paru assez remarquables pour que nous ayons voulu visiter nous-même l'établissement en question, au sujet duquel nous avons présenté aussi un rapport détaillé à la Commission impériale.

La galvanoplastie de l'argent emploie à peu près les mêmes procédés que ceux qui servent à l'argenture galvanique, ce n'est pas une nouvelle découverte. Nous-même nous avons produit en 1843, par la galvanoplastie, une table commémorative en argent massif, 13 pouces de long sur 9 pouces de large, pesant 3 livres et demie, dont l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg fit hommage à son président, M. de Ouvaroff, à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire de son entrée en fonctions. Cependant les difficultés sérieuses que présentaient les procédés employés par nous et par d'autres, n'en avaient permis jusque-là qu'une application industrielle fort restreinte. Il a tenu à des circonstances particulières qu'un long espace de temps se soit écoulé avant que ces difficultés aient pu être surmontées, le prix élevé du métal précieux ne permettant pas de faire autant d'expériences qu'il aurait fallu pour parvenir à un résultat. Ce prix élevé affaiblissait en même temps la confiance dans le succès d'une industrie qui avait à lutter avec le penchant de la majeure partie d'un public qui préfère, en général, l'apparence à la valeur intrinsèque. Aussi l'industrie dont nous parlons n'a-t-elle prospéré jusqu'à présent que dans les Pays-Bas, où les mœurs des habitants sont autres et les richesses plus uniformément distribuées. Nous ne pouvons non plus passer sous silence la part due à des mérites personnels dans le succès de cette industrie. C'est le bon sens, l'habitude des affaires, et surtout la persévérance du chef de cette fabrique qui n'a voulu reculer devant aucun sacrifice.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La plupart des produits de cette fabrication sont déposés dans des moules ouverts de gutta-percha, obtenus par un mode de moulage particulier qui, à première vue, paraît difficile à faire, mais qui présente beaucoup d'avantages et est susceptible d'être appliqué à des formes très-compliquées. Les deux coquilles en argent qu'on obtient de cette manière sont réunies après coup par une soudure d'argent, que les ouvriers qui ont beaucoup d'habileté dans ce genre exécutent avec une grande facilité et toujours avec beaucoup de soin. Toute ciselure est exclue dans ce genre de travail. Pour achever la pièce, il ne faut qu'une légère retouche, pour laquelle on emploie les ouvriers les moins exercés. Nous avons vu aussi des pièces très-difficiles à exécuter : par exemple, un vase complet, sculpté à sa surface, produit avec son anse d'un seul morceau dans un moule fermé. Ce qui nous a paru très-remarquable, c'est qu'on emploie dans ces moules des anodes de fer qui se comportent comme ceux de platine et qui sont d'une parfaite passivité dans les cyanures. Dans un rapport spécial, nous avons décrit la composition des bains argentifères, les précautions qu'on met à leur préparation, et une autre main-d'œuvre dont M. van Kempen nous a communiqué les détails avec une libéralité des plus louables.

Outre les pièces exposées par lui au palais de l'Exposition, nous avons vu dans sa fabrique une grande variété d'objets souvent en nombreux exemplaires ou en voie d'exécution, des statuettes, des animaux, isolés ou réunis en groupes, des surtouts de table, de magnifiques encriers, des vases, des gobelets, etc., le tout exécuté en argent massif. Nous y avons vu encore quelques pièces splendides d'orfévrerie faites sur commande et destinées à des dons commémoratifs pour des occasions solennelles. Le corps de ces pièces est produit, autant que possible, par le martelage ou au tour, mais tous les accessoires et ornements sont faits par des procédés galvaniques. Il convient d'ajouter que les frais de façon de ces objets d'orfévrerie, surtout s'il en faut un certain nombre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'exemplaires, sont très-modiques et bien au-dessous des frais de façon et de ciselure de l'orfévrerie en fonte d'argent ou en repoussé.

Nous ne devons pas oublier de mentionner encore une exposition particulière qui appartient à la classe 44 des produits chimiques. M. Roseleur, qui a écrit un excellent livre sur les procédés hydroplastiques, a fait construire dans le Parc en compagnie de M. le baron Plazanet, un pavillon qui contient tous les appareils, matériaux et produits chimiques employés ordinairement pour faire des dépôts galvanoplastiques. On y voit également une espèce de balance, dite métallo-métrique, destinée à indiquer la quantité de métal déposé dans les bains. Cette collection est aussi instructive que possible; elle présente une ressource précieuse pour les amateurs qui ne veulent travailler que sur une échelle restreinte, ou qui désirent s'instruire dans les manipulations de l'électro-chimie.

§ 8. — Galvanoplastie des autres métaux.

A l'exception du cuivre, de l'argent et de l'or, la galvanoplastie des autres métaux n'a pas encore acquis d'importance industrielle. Cependant tout porte à espérer que, sous la direction de la science, les procédés de la galvanoplastie ne tarderont pas à soumettre à leurs lois tous ces métaux qui s'y sont jusqu'ici montrés rebelles, ou dont les dépôts ne présentent pas encore un état d'agrégation d'une solidité suffisante, égale au moins à celle de la fonte du même métal. Nous mentionnons sous ce rapport les succès obtenus par M. Becquerel père pour la réduction galvanique du nickel et du cobalt. Les beaux échantillons qu'il nous a fait voir consistent en plaques, médailles, etc., très-bien réussis de ces deux métaux obtenus galvaniquement.

Notre savant ami M. Peligot a bien voulu nous confier une planche galvanoplastique en fer (0^{m} 150 de long sur 0^{m}125

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de large et de 2mm d'épaisseur) portant des gravures. Cette planche a été déposée sur une matrice de cuivre par M. Bock-Buschmann, de Sept-Fontaines, près Sarbruck, et présentée par M. Welter à la Société d'Encouragement, dans sa séance du 4 février 1846. Cette planche est très-bien réussie ; elle présente, il est vrai, quelques défectuosités, mais de peu d'importance. Par des raisons que nous ne connaissons pas, cette production en est restée là et n'a pas eu de suite.

Aujourd'hui, M. Feuquières a exposé dans la classe 40 des petits objets en fer galvanique beaucoup mieux réussis. Ce sont des gravures, des camées, des médailles, des feuilles reproduites en fer, et dont le métal paraît irréprochable autant que nous avons pu l'examiner; il est plus dur que le fer forgé et en même temps malléable et dense. Pour prouver qu'il est sûr de son procédé, M. Feuquières a voulu reproduire en creux et en relief mon cachet gravé en acier. Nous ignorons si ces procédés sont déjà assez développés pour être employés industriellement. Dans les derniers jours de l'Exposition, M. Feuquières a réussi également à réduire l'étain dans de très-bonnes conditions par voie galvanique. C'est un métal très-blanc, à grains très-fins, d'une souplesse et d'une malléabilité extrêmes.

§ 9. — Machine magnéto-électrique.

Les dépôts galvaniques nécessitent, comme on sait, l'emploi de la pile. Les embarras qu'elle occasionne, et les frais qui en résultent, sont autant d'entraves qui empêchent la galvanoplastie d'étendre davantage le cercle de ses applications. Il est à espérer que d'ici à peu de temps, la pile sera remplacée par la machine magnéto-électrique, mise en mouvement par la vapeur. Les avantages qui résulteraient de cette substitution seraient considérables à tous les points de vue. Les grands services que les machines magnéto-électriques de la compagnie *l'Alliance* ont rendus récemment à la navigation pour l'éclairage des phares, sont dus à l'activité et au zèle intelligent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du directeur de cette compagnie, M. Auguste Berlioz. Il s'occupe dans ce moment, avec succès, nous l'espérons, de donner à ces machines les dispositions qui les rendront propres à atteindre le but que nous venons de signaler.

§ 10. — Conclusion.

Dans cet exposé, nous avons essayé de donner un tableau succinct, mais aussi complet qu'il nous était possible, du développement et de l'état actuel de la Galvanoplastie comme elle a été présentée au Champ-de-Mars ; nous en avons aussi fait entrevoir l'avenir. Nous nous estimerions heureux de n'être pas resté trop en dessous du but que nous nous étions proposé d'atteindre. Nous convenons que c'est à l'esprit entreprenant de notre époque, au concours de circonstances heureuses, à l'intelligence et à l'activité des personnes mentionnées dans notre rapport, que nous devons le bonheur d'avoir encore pu voir éclore les germes de progrès que nous avions semés. Par les remarquables applications faites dans les branches les plus variées de l'activité humaine, dans les sciences, les arts et l'industrie, la Galvanoplastie a suffisamment démontré sa force vitale, et nous aimons à croire qu'un avenir non moins glorieux lui est réservé.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IX

APPLICATIONS EN GRAND DE LA GALVANOPLASTIE ET DE L'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE

PAR M. OUDRY.

Tout travail sur la galvanoplastie et l'électro-métallurgie représentées à l'Exposition universelle de 1867, sur l'origine de ces belles et utiles découvertes, sur les difficultés qu'elles ont rencontrées à leurs débuts, et enfin sur les progrès vraiment remarquables qu'elles ont accomplis en divers pays, et surtout en France, dans les dix dernières années, doit être divisé en deux parties : la galvanoplastie pure et l'électro-métallurgie.

La galvanoplastie comprendra toutes les applications de l'électricité à la reproduction, en métal, et particulièrement en cuivre, des œuvres de la statuaire et de l'ornementation architecturale ou décorative, ainsi qu'à la reproduction des clichés typographiques et des planches pour la gravure.

L'électro-métallurgie indiquera les applications, par l'électricité, d'un métal déposé en couches plus ou moins épaisses sur d'autres métaux, pour leur donner économiquement plus de richesse et d'éclat, et, souvent aussi, pour les garantir efficacement contre l'oxydation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE I.

GALVANOPLASTIE.

§ 1. — Historique.

La galvanoplastie, dont la découverte encore récente (17 octobre 1838) est due à un savant distingué, M. le professeur Jacobi, de Saint-Pétersbourg, est l'art d'obtenir très-fidèlement, sans retouche ni ciselure, par le moulage et la réduction galvanique, de nombreuses reproductions de statues, vases, bas-reliefs, médailles, clichés, planches gravées, etc., à des prix de revient bien inférieurs à ceux du bronze.

Les débuts de cette admirable découverte furent des plus modestes : des médailles et quelques bas-reliefs, assez mal réussis pour la plupart, furent les seules reproductions obtenues dans les premières années ; et encore les moules en plâtre et en cire dont on se servait alors, et qu'on rendait, au moyen du graphite, conducteurs de l'électricité, ne pouvaient-ils avoir une grande portée industrielle. On employa ensuite la gélatine, qui valait déjà beaucoup mieux, mais dont les inconvénients étaient encore nombreux.

Mais vers l'année 1844, l'importation en Europe d'une substance qui y était encore inconnue, vint agrandir démesurément les horizons de la galvanoplastie. Cette substance, de toutes la plus précieuse pour le moulage, est la gutta-percha, produit d'un arbre qui croît dans les forêts des îles de la Sonde. On la recueille en pratiquant dans l'écorce de cet arbre des incisions d'où découle un suc laiteux qui, peu à peu, se solidifie à l'air. Avant d'être propre au moulage, la gutta-percha exige de nombreuses préparations. A froid, elle est rigide ; mais à chaud, elle acquiert une malléabilité telle qu'elle peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

recevoir alors l'empreinte des objets les plus fins et les plus délicats.

Si la gutta-percha permit plus tard à la galvanoplastie de faire, sous le rapport de la perfection et des difficultés vaincues, d'immenses et rapides progrès, cette découverte n'en est pas moins restée, pendant un certain nombre d'années, dans un état de stagnation déplorable; car, jusqu'en 1858, elle ne fit que des progrès insignifiants.

Diverses causes contribuèrent à ces résultats négatifs. Parmi ces causes, il en est deux surtout dont nous croyons devoir parler avec quelques détails. La première fut l'inexpérience et l'impéritie des premiers opérateurs; la seconde, la résistance, le mauvais vouloir persistant, le dédain même des fabricants de bronze, et, chose plus difficile à comprendre, d'un certain nombre d'artistes de talent.

Il est évident que, au début, avec des moulages mal faits et des réductions galvaniques plus mauvaises encore, on ne pouvait obtenir que de détestables produits. Lorsqu'un moule était défectueux, au lieu de le jeter au rebut, on le faisait servir tel quel; mais ce n'était pas tout. Comme on ne savait ni préparer convenablement les bains galvaniques, ni les entretenir dans un état constant de saturation, ni régler la force du courant électrique, d'après l'importance des pièces à reproduire, il arrivait que, presque toujours, le cuivre réduit par la pile était aigre, cassant, brûlé ou strié, et que l'agrégation moléculaire était des plus défectueuses.

Dans un bas-relief, un bras, une jambe, une tête étaient-ils mal venus, ou même manquaient-ils totalement? On ne s'inquiétait pas de si peu! On les reconstruisait, plus mal que bien, avec de la résine et de la cire, ou avec du plâtre, du ciment, en un mot, avec n'importe quelle substance non métallique, et on recouvrait ensuite le tout d'une couche de vernis et de poudre de bronze, d'or ou d'argent, selon la nature des objets. Comment de tels produits n'auraient-ils pas discrédité, et pour longtemps, une industrie naissante? Aussi, aujourd'hui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

encore, beaucoup de personnes croient fermement que le cuivre réduit par la pile doit être nécessairement de mauvaise qualité, tandis que ce métal, étant produit dans des conditions normales, comme cela a généralement lieu maintenant, est homogène, ductile, malléable, d'un grain fin et serré, d'une belle couleur rosée, et ne présente ni soufflures ni cavités.

Il n'est donc pas surprenant que, pendant les premières années, les artistes et les fabricants de bronze aient éprouvé de l'éloignement et même un certain mépris pour cette découverte, et qu'ils n'aient eu, par conséquent, aucune confiance en son avenir. Mais depuis cette époque déjà éloignée, de remarquables progrès ont été accomplis sous leurs yeux pour ainsi dire, et ces progrès auraient dû les faire revenir sur leurs premières impressions. Et cependant, à peu d'exceptions près, il n'en est rien.

De la part de certains sculpteurs ou statuaires d'un mérite réel, une résistance aussi aveugle est vraiment incompréhensible, car ils ont tout à gagner au triomphe de la galvanoplastie. Ne peuvent-ils pas, en effet, traduire avec son aide leurs pensées et reproduire leurs œuvres avec une certitude, une perfection et une fidélité que jamais la fusion et les meilleurs ciseleurs ne sauraient leur donner? Si, du moins, ils avaient pour excuse le haut prix des reproductions galvaniques! mais non, car elles coûtent beaucoup moins cher que le bronze ciselé, ou même simplement retouché. Redouteraient-ils aussi la multiplicité de leurs œuvres? Cela ne se serait jamais vu, car la multiplicité, c'est la popularité. Craindraient-ils d'amoindrir ainsi la valeur artistique attachée à leurs œuvres fondues en bronze? Cette crainte serait puérile, car il y a tout autant de mérite, sinon plus, dans une reproduction galvanique d'une fidélité irréprochable, que dans une reproduction en bronze coulé et ciselé.

Quant aux fabricants de bronze, cela est différent : aussi, jusqu'à un certain point, comprenons-nous l'éloignement que la plupart d'entre eux conservent encore pour la Galvanoplastie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les uns, c'est une rivale dangereuse; pour les autres, une industrie sans nul mérite artistique : voilà, en peu de mots, l'opinion et les craintes des fabricants de bronze. Loin de redouter la galvanoplastie comme une rivale qui cherche à les supplanter, ne devraient-ils pas la considérer comme une alliée, aujourd'hui utile, demain peut-être indispensable, et tenter des essais d'autant plus faciles qu'ils n'ont ni monopole à craindre ni brevets à respecter; ils auraient bientôt lieu de s'applaudir de ces essais. Les objets qui méritent réellement le nom de bronzes d'art sont d'ailleurs fort rares; tandis que le commerce est inondé, partout, de produits d'un goût souvent douteux et d'une exécution fort inférieure à celle de la plupart des reproductions galvaniques; celles-ci ne doivent donc pas choquer les fabricants de ces sortes de produits.

En résumé, nous avons l'espoir que les fabricants de bronzes, comme les artistes, mieux éclairés sur leurs véritables intérêts, renonceront à une résistance qui n'a plus de raison d'être. Par la perfection acquise et la modicité de ses prix, l'industrie de la galvanoplastie répond à des besoins nouveaux, et elle est appelée à répandre dans les masses le goût du beau, en un mot, à populariser, à démocratiser l'art, selon la belle expression de l'Empereur.

Nous savons bien que parmi les exposants de la galvanoplastie il en est peu qui soient réellement satisfaits des résultats immédiats de l'Exposition universelle; cependant il est impossible qu'ils ne recueillent pas, avant peu, des avantages considérables de ce magnifique concours.

Nous n'avons parlé, jusqu'ici, de la galvanoplastie qu'au point de vue de la statuaire et de l'ornementation; mais là ne se bornent pas ses applications. La typographie et la gravure ont aussi à se louer grandement des services multipliés qu'elle leur rend pour la reproduction des clichés et des planches gravées : il en est de même de l'orfévrerie et du mobilier, qui y trouvent, l'un et l'autre, des ressources précieuses pour la décoration.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avant de mentionner les œuvres principales de la galvanoplastie, tant à l'Exposition universelle qu'ailleurs, nous croyons devoir donner quelques détails sommaires sur les opérations pratiques qui constituent une reproduction galvanique. Nous avons déjà dit les merveilleuses propriétés de la gutta-percha pour les moulages; nous n'y reviendrons donc pas. Lorsqu'un moule est convenablement métallisé, soit au moyen du graphite, soit avec une dissolution de nitrate d'argent qu'on réduit ensuite par l'acide sulfurique, on plonge ce moule dans un bain galvanique, en ayant soin de le faire communiquer, par un ou plusieurs fils conducteurs en cuivre ou en métal, avec les éléments de la pile simple ou composée dont on fait usage pour obtenir le courant électrique. Les surfaces du moule, qui ont été métallisées, se recouvrent insensiblement d'une couche de cuivre, dont l'épaisseur dépend de la durée plus ou moins longue de l'opération électro-chimique. Quand on juge que l'épaisseur est suffisante, on retire la pièce du bain, et il ne reste plus qu'à la détacher du moule, soit à chaud, soit à froid, selon les difficultés du démoulage à opérer, et à en enlever les ébarbes, avant de la bronzer, ou de l'argenter, ou de la dorer. On le voit, rien n'est plus simple, en apparence du moins; mais, dans la pratique, on rencontre souvent de très-grandes difficultés, surtout lorsqu'il s'agit d'opérer la reproduction de statues ou d'autres grandes pièces très en relief. Cependant cette industrie a fait, depuis quelques années surtout, des progrès tellement extraordinaires qu'il n'existe plus de difficultés insurmontables. Mais si tout est aujourd'hui possible comme exécution, il ne suit pas de là que tout soit pratique et industrie; c'est pourquoi nous donnons plus haut aux fabricants de bronze le conseil de former une espèce de traité d'alliance entre les deux industries : celui-là fera mieux, et à meilleur marché, telle partie d'une œuvre, et celui-ci, telle autre partie.

Parmi les progrès obtenus dans les opérations galvanoplastiques, il en est deux qui sont dus à M. H. Bouilhet, de la maison Charles Christofle et C^ie^. Le premier, c'est la soudure de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

laiton appliquée sur le cuivre galvanique, au moyen du gaz et du chalumeau, afin d'augmenter à volonté, par la fusion du laiton, l'épaisseur et la solidité de toute pièce galvanoplastique, et de réduire du même coup le séjour nécessaire de cette pièce dans les bains électro-chimiques. La seconde amélioration consiste dans une addition *infinitésimale* de gélatine dans les bains galvaniques, ce qui a pour résultat de communiquer au cuivre réduit par la pile plus de densité et de ténacité. Quant aux fils de plomb employés en remplacement des fils de platine, comme conducteurs de l'électricité, nous avons vu faire cette application, il y a environ quinze ans, c'est-à-dire longtemps avant qu'il ne fût question des squelettes ou carcasses, en fils de platine ou de plomb, dont on attribue l'idée première à M. Lenoir, l'habile inventeur des machines électriques qui portent son nom.

§ 2. — Produits exposés.

Il ne nous reste plus, pour terminer cet examen de la galvanoplastie, qu'à mentionner rapidement les plus remarquables reproductions exécutées jusqu'à ce jour, et dont la majeure partie figurait à l'Exposition universelle. Nous signalerons dans la partie anglaise, outre une quantité d'objets appartenant au *South Kensington Museum* de Londres, et reproduits d'après des originaux du Musée d'artillerie de Paris et du Musée de Cluny, une porte de la cathédrale de Pise, au douzième siècle ; une autre porte moderne, composée de six panneaux contenant les figures allégoriques de la chimie, de l'astronomie, de la mécanique, de l'architecture, de la sculpture et de la peinture. Mais la palme de la galvanoplastie anglaise revient de droit à l'illustre maison Elkington et C^ie^; là, tout était à admirer, sans réserve ni exception.

L'Amérique et la Prusse ne nous ont offert aucun spécimen de galvanoplastie; mais nous parlerons de ces puissances, quand nous traiterons de l'électro-métallurgie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la Section autrichienne, nous avons vu de beaux bas-reliefs grecs et de la renaissance, d'admirables coupes, des aiguières et des amphores, exposés par le Musée artistique et industriel de Vienne.

Mais où la galvanoplastie brillait de tout son éclat, c'était dans la Section française du Palais et du Parc. Citons d'abord l'importante maison Ch. Christofle et C^ie^, dont l'exposition en ce genre, comme en tout autre, du reste, était vraiment fort remarquable. A côté de la statue en cuivre argenté du Prince Impérial, par M. Carpeaux, on admirait une autre belle statue assise sur un rocher : c'était l'Ariane, de M. Millet, dont l'original, en marbre blanc, était placé dans le jardin central. Le Penseur de Michel-Ange, les Lutteurs, la Porte de la sacristie de l'église Saint-Marc, à Venise, et surtout le Milon de Crotone, d'après Pierre Puget, sans compter nombre d'autres objets que, pour abréger, nous sommes forcés de passer sous silence, sont de magnifiques reproductions, qui font le plus grand honneur à cette estimable maison, et en particulier à M. H. Bouilhet, dont nous avons déjà parlé. MM. Ch. Christofle et C^ie^ ont exécuté aussi tous les chapiteaux et les bustes qui décorent la façade du nouvel Opéra : ils sont, de plus, chargés de la reproduction de deux grands groupes de 5 à 6 mètres de hauteur, qui sont l'œuvre d'un habile statuaire, M. Gumery, et qui sont destinés également à la décoration extérieure du nouvel Opéra. Enfin, précédemment, ils ont reproduit, avec un plein succès, les portes de la nouvelle église Saint-Augustin, d'après les dessins de M. Baltard, architecte en chef de la ville de Paris.

Dans un pavillon particulier du Parc, MM. Lionnet frères ont exposé une collection complète de coffrets, de petites psychés, de coupes, d'aiguières, de plats, d'armures, de casques, de broches et de médaillons; tous ces objets, dorés, argentés, platinisés ou bronzés, sont ravissants de forme et parfaits d'exécution. Devant leur pavillon, nous avons remarqué, outre plusieurs statuettes bien réussies, une magni-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fique statue de Pierre le Grand, le charpentier de Saardam.

A la suite de l'exposition galvanoplastique de MM. Christofle et C^ie^, M. Feuquières, un chercheur infatigable, avait une très-belle collection d'objets artistiques, reproduits en fer et en acier par l'électricité. Cette heureuse invention a eu un très-grand succès auprès du Jury international.

Derrière la vitrine de M. Feuquières, M. Bertrand et M. Mourey avaient, l'un et l'autre, ainsi que M. Lefèvre, de fort belles reproductions artistiques : chaque pièce, pour ainsi dire, serait à citer.

Maintenant que nous pensons avoir rendu justice à chacun, il nous sera permis de mentionner les principales reproductions de l'usine électro-métallurgique d'Auteuil. Nous y sommes en quelque sorte obligé, pour compléter un travail sur la galvanoplastie.

Dans un grand pavillon, peu éloigné de celui de l'Empereur, l'usine d'Auteuil avait exposé de nombreux spécimens de galvanoplastie. C'étaient d'abord les bustes de l'Empereur, de l'Impératrice et du Prince Impérial, le premier par M. Iselin, le second par M. Pollet et le troisième par M. Guméry. Sur la droite, en entrant, un grand tableau représentant un épisode tiré de l'arc de triomphe de Constantin, à Rome ; ce tableau a été commandé par l'Empereur. En face, à gauche, un tableau plus grand encore que le premier, l'*Alexandre* et le *Diogène*, du Musée du Louvre, d'après Pierre Puget ; l'original est en marbre blanc. Au centre du pavillon, la *Vénus de Milo*, du Louvre ; sur les deux côtés, en entrant, deux reproductions du fameux vase Borghèse ; au-dessus des baies vitrées, les quatre grands bas-reliefs de Jean Goujon, et en arrière des bustes de Leurs Majestés, les deux belles cariatides de la cheminée de Germain Pillon, au Louvre. Derrière les grands tableaux de Constantin et d'Alexandre, deux bas-reliefs de la colonne Trajane, appartenant également à l'Empereur ; près de là, plusieurs reproductions de l'Atlas et d'autres bustes. Enfin, sur les gradins, placés au-dessous des deux grands tableaux précités,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une quantité d'objets de moindres dimensions : boucliers, plats, aiguières, coupes, médaillons, bas-reliefs, etc. ; et dans le pourtour du pavillon, appendus aux murs, tous les bas-reliefs du Parthénon, (réduction Collas) et toute la collection des bas-reliefs du tombeau de François Ier.

Antérieurement, sur la haute et toujours bienveillante intervention de l'Empereur, l'usine d'Auteuil avait exécuté la reproduction entière de la colonne Trajane, à Rome: cette colonne, composée de 600 bas-reliefs, mesurant ensemble environ 500 mètres superficiels, est montée, depuis trois ans, en dix grandes sections, dans une des salles du pavillon Denon, au nouveau Louvre. La hauteur totale de la colonne Trajane est de 48 mètres, sa circonférence moyenne de 12 mètres. C'est, croyons-nous, l'œuvre la plus importante qui ait été faite jusqu'ici en galvanoplastie. L'usine d'Auteuil est chargée, en outre, par l'habile et modeste architecte du nouvel Opéra, de la reproduction des deux Pégases ailés de M. Lequesne, qui mesurent près de 6 mètres en hauteur ; les Génies qui les conduisent, ont 4 mètres 50 centimètres. La même usine doit aussi reproduire bientôt, pour le même monument, le grand groupe de M. Millet, représentant Apollon et les Muses ; la figure principale mesure 6 mètres en hauteur. Ce groupe est destiné au couronnement de l'édifice, au-dessus de la scène.

Par ce rapide aperçu des principales reproductions exécutées en divers pays, et surtout en France, on peut se faire une idée des progrès vraiment surprenants qui se sont accomplis depuis la dernière Exposition universelle de Londres. A cette exposition, en effet, MM. Christofle et Cie, n'avaient exposé que quelques pièces de peu d'importance : il en fut de même de MM. Lionnet frères et des quelques autres exposants français et étrangers ; quant à l'usine d'Auteuil, elle n'avait pas exposé, en galvanoplastie, une seule pièce, si petite fût-elle, et elle n'avait là que des spécimens de fonte cuivrée ; bien plus, à cette époque, sauf quelques médaillons, elle n'avait encore rien produit comme objets de galvanoplastie, car ce ne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fut que l'année suivante qu'elle exécuta la colonne Trajane, commandée par l'Empereur, sur la proposition de M. de Longpérier, membre de l'Institut.

Il ne nous semble pas possible que les progrès réellement merveilleux de la galvanoplastie en si peu d'années ne dessillent pas, enfin, les yeux des artistes et des fabricants de bronze : dans tous les cas, l'avenir de cette belle et intéressante découverte est désormais assuré.

CHAPITRE II.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE.

Peu de temps après la découverte de la galvanoplastie, on en fit une autre non moins importante, l'électro-métallurgie, c'est-à-dire l'art de recouvrir par l'électricité, d'une couche adhérente de métal, d'autres métaux plus communs et facilement oxydables. Depuis longtemps déjà, on cherchait, pour l'orfévrerie et la bijouterie, à remplacer l'or et l'argent massifs par du cuivre doré ou argenté. On y réussit, mais, dans le principe, la couche déposée était tellement mince qu'elle n'offrait aucune certitude de durée ; le mercure seul permettait d'arriver, pour la dorure, à une certaine épaisseur, mais le mercure est la ruine de la santé des ouvriers.

En 1840, M. de la Rive, professeur à l'Académie de Genève, découvrit un procédé pour dorer le cuivre, par la décomposition, au moyen de la pile, d'une dissolution de chlorure d'or. Ce procédé était incomplet, parce que, souvent, l'adhérence faisait défaut, mais c'était, néanmoins, un grand pas vers une heureuse et complète solution. Quelques mois plus tard, MM. Elkington, de Birmingham, découvrirent un nouveau procédé de dorure et d'argenture, en décomposant par la pile, dans le cyanure double de potassium, des solutions alcalines de cyanures d'or et d'argent. L'année suivante, M. de Ruolz, fit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

breveter des procédés à peu près analogues, et vendit ses brevets à M. Christofle. Mais, MM. Elkington ayant réclamé et soutenu énergiquement leur droit d'antériorité, M. Christofle fit l'acquisition de leurs brevets, et fonda ainsi, à Paris, la grande et belle industrie, qui est connue du monde entier, et dont l'établissement n'a de rival que la fameuse maison Elkington dont nous venons de parler.

On ne retrouvera peut-être jamais une collection aussi complète d'objets d'orfévrerie, dorés ou argentés, que celle qu'on a pu voir et admirer, pendant sept mois, à l'Exposition universelle du Champ-de-Mars. Dans la Section anglaise, en Suède et surtout en France, presque toutes les vitrines de l'orfévrerie regorgeaient de produits de ce genre.

Mais, cette année, comme à l'Exposition de Londres, la pièce capitale fut le magnifique surtout de table, exécuté, depuis longtemps déjà, pour la ville de Paris. Le surtout appartenant à l'Empereur fut également très-admiré, ainsi qu'une foule d'autres pièces, qui étaient des merveilles de goût et d'exécution.

Nous ne pensons pas que, à l'exception des diamants, de la joaillerie et des petites industries de la galerie des machines, on vît nulle part une foule plus compacte qu'à la classe française de l'orfévrerie galvanique.

Les diverses opérations électro-chimiques furent très-suivies dans deux pavillons du Parc, celui de M. de Plazanet, successeur de M. Roseleur, l'intelligent chimiste praticien, et celui de MM. Lionnet frères, ainsi que dans le laboratoire international. Ces opérations sont aujourd'hui tellement connues, et elles ont été si souvent décrites, que nous croyons inutile de nous en occuper ici. N'oublions pas, toutefois, de mentionner l'application électro-chimique du platine par MM. Lionnet frères, et du fer et de l'acier par M. Feuquières, dont nous avons mentionné les intéressants produits.

Disons aussi quelques mots de l'application directe du cuivre et du laiton, par la pile, sur de nombreux objets, en fonte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

artistique ou ornementale, exposés surtout dans les Sections anglaise, américaine et prussienne. Malheureusement, ces applications ne peuvent avoir d'utilité que pour des pièces soustraites à l'action de l'humidité; la nécessité d'un décapage préalable par les acides et le peu d'épaisseur des dépôts de cuivre ou de laiton ne permettent d'appliquer les dépôts électro-chimiques, faits directement sur la fonte, qu'à des objets destinés à l'intérieur des appartements, et soigneusement garantis contre l'humidité. Autrement, il se forme bientôt une action galvanique entre les deux métaux juxta-posés, et l'oxydation ne tarde pas à exercer ses ravages.

En Angleterre, MM. Chrichley, Wild et C^ie^, de Birmingham, avaient une belle exposition de fontes d'ornement, cuivrées par ces procédés : nous avons remarqué, notamment, des cheminées, des calorifères, des étagères avec porte-chapeaux, des guéridons, etc.

En Amérique, l'exposition des fontes d'art de MM. Tucker et C^ie^ était beaucoup plus remarquable encore : des pendules, des lampes, des lampadaires, des bustes, des statues, des coupes et une quantité d'autres objets, bronzés à faible épaisseur et très-bronzés, nous ont paru mériter les éloges et les sympathies du public.

Les fontes d'art de la Prusse étaient également fort belles, à l'exception toutefois d'un certain bronzage bleu d'un fort mauvais goût, au point de vue français, bien entendu. Nous avons remarqué et examiné en détail toutes les pièces de M. Lauchammer, puis celles de MM. Polh et C^ie^, de Berlin; de M. Zimmerman, de Hanau (Hesse); de M. Albert Neves Nachfolger, de Berlin; ces diverses expositions offraient vraiment un grand intérêt.

Ce que nous venons de dire des fontes d'ornement, cuivrées directement et avec une faible épaisseur par la pile, après un décapage préalable, nous amène naturellement à parler du système de cuivrage galvanique, avec forte épaisseur, de l'usine d'Auteuil. Malgré quelques défauts, ce système est,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

croyons-nous sincèrement, le seul qui, jusqu'ici, garantisse efficacement contre l'oxydation les monuments publics en fonte, tels que les fontaines et les candélabres, tout en leur procurant, à peu de frais relativement, la beauté et presque la durée du véritable bronze. Il ne fallut rien moins que plusieurs années d'essais et de sacrifices, aussi inutiles que coûteux, pour acquérir l'intime conviction que le décapage de la fonte, par cela même qu'il exige l'emploi d'eau acidulée, est et sera probablement longtemps encore, une cause inévitable d'*insuccès*. En effet la fonte, — combinaison de carbone et de fer, — renferme beaucoup de corps étrangers, tels que : le soufre, le phosphore, l'alumine, la silice, le manganèse, etc. Ces matières étrangères, le soufre surtout, sont la cause de nombreuses soufflures ou piqûres ; l'excès de carbone lui-même augmente la porosité de la fonte, nuit à sa qualité et rend ainsi le décapage presque toujours imparfait ou nuisible, sur de grandes pièces en fonte.

Or, il est facile de comprendre qu'une pièce en fonte, imparfaitement décapée, à cause des soufflures cachées, ne peut recevoir, dans le premier bain de cuivre, qu'une préservation tout à fait insuffisante contre l'action corrosive du second bain qui est acide, et où elle doit cependant faire un séjour prolongé. En admettant même un décapage aussi parfait que possible et tous les soins voulus pour le dégorgement de l'acide, on n'y réussit que fort rarement sur des pièces de grandes dimensions et difficiles à bien décaper. Qu'arrive-t-il alors ? qu'il reste dans la fonte des traces d'acide, qui provoquent plus tard sa corrosion, et amènent infailliblement, par des déchirures partielles du cuivre déposé par la pile, de nombreuses traces d'oxydation : une fois l'action galvanique en marche, elle ne s'arrête plus. Ce qu'il fallait donc, avant tout, c'était couper le mal à la racine, en évitant tout décapage ; puis, faire en sorte de trouver une notable économie par la suppression du premier bain, et arriver ainsi à des applications économiques et réellement utiles. C'est ce difficile

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

problème que l'usine d'Auteuil est parvenue à résoudre avec un plein succès, ainsi que le démontrent suffisamment toutes les fontaines monumentales et les 15 à 16,000 candélabres de la ville de Paris, qui ont été recouverts, par ces procédés, d'une solide enveloppe de cuivre galvanique.

Nous allons maintenant donner une description sommaire des diverses opérations de ce système de cuivrage galvanique. La fonte étant préalablement bien nettoyée à sec, on la recouvre de trois couches d'un enduit au minium, qui est tellement fin et fluide que ces trois couches superposées forment à peine l'épaisseur d'une couche de peinture ordinaire. On ne donne la deuxième couche qu'après l'entière siccité de la première, et, ainsi de suite, pour la troisième. On métallise ensuite les surfaces à cuivrer, avec de la poudre de graphite, dont on les frotte jusqu'à ce qu'elles soient d'un noir bien brillant.

Cela fait, les pièces sont immergées dans des bains saturés de sulfate de cuivre en dissolution, et on les met en communication, par des fils ou rubans de cuivre, avec des éléments galvaniques. Si ces éléments sont simples, ils sont placés dans les bains mêmes ; mais, s'ils sont composés, on les établit en *batteries*, en dehors des bains, et on ajoute des anodes en cuivre qui plongent dans les bains. On a soin de proportionner la surface des éléments qui doivent donner le courant électrique à la surface des pièces à cuivrer, et d'entretenir, jour et nuit, les bains dans un état constant de saturation et les ateliers à une température moyenne de 15 à 16 degrés minimum. Au bout de quatre, six, huit et même dix jours, selon la nature des pièces et l'épaisseur de cuivre nécessaire, l'opération galvanique est terminée. On retire alors ces pièces des bains, on enlève, avec la lime ou le rifloir, les petites aspérités qui ont pu se produire sur le cuivre pendant le travail chimique, on les décape ensuite, afin de donner au cuivre un ton rose mat, et, enfin, on les gratte-bosse, pour les bronzer en vert ou en florentin.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le point capital de l'opération est une bonne application de l'enduit protecteur et isolant : aussi, trois couches sont-elles indispensables pour obtenir, à coup sûr, de bons résultats. Si la fonte n'était qu'imparfaitement protégée, elle serait exposée, pendant son séjour prolongé dans les bains de sulfate de cuivre, à l'action corrosive de l'acide sulfurique, et l'opération serait à recommencer avec de plus grandes difficultés, à cause de la pénétration de l'acide dans les molécules et dans les piqûres de la fonte. Les ouvriers de l'usine ont acquis, par une longue pratique des mêmes opérations, une expérience et une habileté telles, que jamais ou presque jamais une pièce n'est manquée par leur faute. Cependant de graves accidents se produisent quelquefois dans les bains galvaniques ; mais ils ont toujours pour cause, soit quelque perturbation atmosphérique impossible à conjurer, soit un excès de fatigue des bains. Chose singulière et presque incroyable, si les faits n'étaient là pour l'attester ! les bains galvaniques, de même que les êtres animés, quoique bien nourris et bien entretenus, ont, de temps à autre, besoin de repos, et d'un long repos.

Il existe à Paris, depuis quelques années déjà, un nouveau système de cuivrage direct de la fonte, qui est dû à un chimiste habile, M. Frédéric Weil. Son système, qui nécessite aussi le décapage, se distingue des systèmes analogues, 1° par la suppression, dans certains cas, de la pile dans le premier bain de cuivre, et par le remplacement de celle-ci par un simple fil de zinc, au moyen duquel on tient les objets en suspension jusqu'à ce qu'ils soient revêtus d'une faible couche de cuivre ; 2° par la composition de ce premier bain : dans une dissolution très-alcaline, M. Weil introduit du sulfate de cuivre, de l'acide tartrique et un excès de soude ou de potasse. Mais, cette faible couche de cuivre ne pouvant préserver avec efficacité de grandes pièces de fonte exposées à une humidité presque constante, telles que des fontaines monumentales, des candélabres, etc., il est indispensable, pour obtenir un dépôt de cuivre d'une certaine épaisseur, d'avoir recours à un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deuxième bain saturé de sulfate de cuivre et, par conséquent, acide, ce qui est toujours un danger à cause du décapage de la fonte. Nous avons vu cependant, à l'extrémité de la classe 40, et dans plusieurs parties du Parc, des statues et des candélabres, exposés par la *Société Générale des revêtements galvaniques*, qui a acquis les brevets de M. Weil, et ces objets nous ont paru exécutés dans de bonnes conditions de cuivrage ; mais le temps seul pourra faire connaître la valeur réelle de ces procédés. Ce que nous tenons à constater dès maintenant, c'est que, pour tous les objets non exposés à l'humidité, et qui, conséquemment, n'ont pas besoin de deux bains de cuivre successifs, le système de M. Weil est préférable à celui de l'usine d'Auteuil : il offre d'abord une adhérence parfaite et ensuite il conserve beaucoup mieux la finesse des détails : aussi, conseillons-nous son emploi pour toutes les pièces d'ornementation intérieure en fonte, telles que : patères, garde-feux, porte-pelles et pincettes, panneaux pour cheminées, etc., etc.

Nous terminerons ce travail en disant que, si les procédés de cuivrage de l'usine d'Auteuil ne sont pas le dernier mot de la science, ce dont nous sommes persuadé, les quelques inconvénients qu'ils présentent, et, entre autres, le grossissement des lignes et des détails, sont largement compensés par les avantages qu'ils procurent. En effet, avant l'invention de ces procédés, que voyait-on partout ? Des monuments en fonte, des statues, des fontaines, des candélabres, etc, dont toutes les figures et les ornements étaient enfouis sous d'épaisses couches de peinture, de rouille, de poussière, et, même, pour les fontaines publiques, de dépôts séléniteux ou calcaires considérables, qui étaient occasionnés par l'action des eaux et adhéraient fortement à la peinture.

D'ailleurs, pour juger équitablement la valeur de ces procédés, il ne faudrait jamais perdre de vue que les monuments en fonte, recouverts d'une forte épaisseur de cuivre galvanique, ne coûtent guère que le tiers ou les deux cinquièmes, au plus, du prix du bronze. Ainsi, le nouveau candélabre à gaz de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ville de Paris, pèse 230 kilogrammes environ, et ne coûte, — comme fonte, ajustage, montage, cuivrage galvanique et bronzage, — que 200 francs, et même un peu moins, c'est-à-dire à peine 0,87 centimes le kilogramme, tout compris. Admettons que le même candélabre, coulé en bronze, n'atteigne, malgré la différence de densité des deux métaux, qu'aux trois cinquièmes du poids de la fonte, et qu'en conséquence, il ne pèse que 138 kilogrammes, au lieu de 230 kilogrammes; admettons aussi que le prix du kilogramme de bronze ne coûte, tout compris, que 6 francs; disons même, par impossible, 5 fr. 50 cent. seulement, ce candélabre n'en reviendrait pas moins à 759 francs ; le même candélabre, en fonte cuivrée, ne coûtant que 200 francs, l'excédant de dépense serait donc, avec l'emploi du bronze, de 559 francs qui, multipliés par les 20,000 candélabres qui seront, au moins, nécessaires pour la ville de Paris, élèveraient la dépense totale, pour le bronze, à 15,180,000 francs, tandis que la fonte cuivrée ne coûtera que 4 millions de francs : différence, en plus, avec le bronze, 11,180,000 francs.

Or, n'est-il pas très-présumable que, si l'administration municipale s'était trouvée en présence d'un chiffre de plus de 15 millions, elle y eût regardé à deux fois avant de renouveler tous ses vieux candélabres, bien que ceux-ci aient un aspect peu flatteur ?

En résumé, le cuivrage galvanique de la fonte, avec une forte épaisseur, ne saurait convenir pour de petites pièces d'ornementation, mais il est indispensable pour embellir *économiquement* les monuments publics, tels que fontaines et candélabres, et pour leur procurer, outre l'aspect du bronze, une préservation absolue de l'oxydation. Maintenant que les fondeurs savent couler en fonte de véritables chefs-d'œuvre, la galvanoplastie arrive à son heure, pour donner de la durée aux créations des Barbezat, des Ducel et des Durenne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 48

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS RURALES ET FORESTIÈRES

SOMMAIRE :

Section I. — Matériel et procédés des exploitations rurales, par M. Boitel, inspecteur-général de l'agriculture, chargé de l'inspection des établissements agricoles pénitentiaires.

Section II. — Machines locomobiles et machines routières, par M. Tresca, sous-directeur et professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.

Section III. — Matériel et procédés des exploitations forestières, par M. Serval, chef de bureau au Ministère des Finances, (Administration des Forêts de l'État).

Section IV. — Matières fertilisantes d'origine organique ou minérale, par M. le baron Justus de Liebig, président de l'Académie des Sciences de Bavière.

Section V. — Assainissement des fosses et conversion des vidanges en engrais, par M. Dumas, sénateur membre de l'Institut.

Section VI. — État actuel de l'industrie des engrais, par M. Paul Boiteau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 48

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS RURALES ET FORESTIÈRES

SECTION I

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS RURALES

PAR M. A. BOITEL.

CHAPITRE I.

MACHINES ET OUTILS.

1. — Observations générales.

Le matériel des exploitations rurales a acquis cette fois une importance et une universalité qui donnent à cette Exposition une supériorité marquée sur celles qui l'ont précédée.

On voit au Champ-de-Mars des machines agricoles de toutes les parties du monde : nombreuses et variées pour les contrées les plus rapprochées de la France, elles deviennent plus rares et plus spéciales à mesure que les distances augmentent et qu'elles correspondent à un état cultural moins

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avancé; mais les types venus des pays les plus lointains n'en sont pas moins caractéristiques pour l'agriculture qui les emploie. Ils fournissent des indications utiles sur les procédés d'exploitation et sur les produits divers auxquels ils sont appliqués.

Le climat, plus que le sol, imprime un cachet particulier aux productions de chaque pays. L'outillage de l'exploitant reproduit fidèlement ces modifications imposées par la nature; à l'aspect des machines de la classe 48, on devine en quelque sorte le système de culture que le climat fait prédominer sur les différents points du globe. A la région des céréales se rapportent les faux, les faucilles, les moissonneuses et les puissantes machines à battre. Ces engins perdent de leur importance et cèdent le pas aux appareils qui servent à la fabrication du vin et de l'huile, à mesure qu'on passe de la zone des céréales dans celles de la vigne et de l'olivier. Si nous nous rapprochons davantage de l'équateur, les fouloirs et les pressoirs des régions précédentes disparaissent et font place à des machines qui s'appliquent au coton, à la canne à sucre, au café et aux autres productions des contrées les plus chaudes; mais il est des plantes qui, comme le blé et plusieurs autres cultures herbacées, viennent à peu près en tout pays, sans doute parce qu'elles répondent à un besoin de premier ordre, celui d'assurer l'alimentation de l'homme.

Les pays les plus chauds, de même que les plus froids, présentent des surfaces qui, pendant l'hiver ou l'été, à une exposition convenablement choisie, au niveau des vallées ou sur les plateaux des montagnes, offrent au froment les conditions favorables à sa végétation et à sa maturité. Les plantes d'une utilité et d'une culture générales donnent lieu à des façons aratoires et à des procédés de culture qui permettent des comparaisons entre toutes les nations et qui, en ce qui concerne les machines agricoles, vont nous mettre en mesure, d'après les objets présentés à l'Exposition universelle, de faire ressortir les progrès principaux accomplis par celles des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nations qui depuis 1862 se sont le plus distinguées dans cette branche de l'agriculture.

§ 2. — Préparation du sol. — Labour, semailles et façons diverses.

Le labour est, de toutes les façons aratoires, celle dont l'usage est le plus important et le plus général. On laboure sur tous les points du globe; malheureusement les mauvaises charrues, qui consistent dans une simple barre de fer écroutant la surface du sol, sont encore celles dont le domaine est le plus étendu. L'Angleterre, la France, la Belgique, la Prusse, l'Autriche, la Suède et les États-Unis d'Amérique possèdent les meilleures charrues de l'Exposition universelle. Si on ne s'en rapportait qu'aux essais de Billancourt, les Anglais l'emporteraient pour la perfection et la régularité du labour; aux Français reviendrait le mérite des labours de défoncement. La charrue Vallerand, dite la *Révolution*, constitue l'instrument le plus énergique qui ait jamais été imaginé. Elle fait du premier coup un labour de 0^m 35 à 0^m 40 de profondeur. Cette puissante charrue, d'invention toute récente, incorpore au sol une couche de terre que les autres instruments avaient toujours respectée. Elle régénère et renouvelle le terrain et elle met à la disposition des plantes les principes dont le sol, par l'effet des cultures successives, se trouve plus ou moins dépourvu.

L'approfondissement de la couche arable procure en outre, pour l'eau et pour l'air, une perméabilité des plus salutaires pour toutes les cultures. Cette idée féconde du renouvellement de sol, par le labour, a pris naissance dans un département où, il y a cinquante ans, on aurait traité d'insensé tout cultivateur qui aurait ramené un peu de terre neuve à la surface.

Maintenant que les plantes industrielles marchent de pair avec les céréales et qu'on dispose d'abondantes fumures, la terre neuve n'est plus à redouter. On sait, au contraire, que rien n'assure mieux le rendement élevé des racines que le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

défoncement accompagné d'une très-forte fumure. Depuis un certain nombre d'années, la charrue Bonnet, sur quelques points du midi de la France, est employée derrière une charrue ordinaire pour ramener une tranche du sous-sol à la surface. On s'en sert notamment dans les terres à garance du département de Vaucluse et dans les alluvions riches et profondes de certaines vallées. Cette charrue produit un effet analogue à celui de la *Révolution;* mais elle agit moins énergiquement et n'est pas d'un emploi aussi général.

L'exposition de l'Italie et celle de la Suède présentent aussi plusieurs modèles de charrue du système Bonnet, ce qui démontrerait que, dans les parties les mieux cultivées de ces royaumes, les agriculteurs reconnaissent qu'il est avantageux d'augmenter la profondeur du sol en ramenant une partie du sous-sol à la surface.

A l'Angleterre revient le mérite d'avoir inventé et perfectionné plusieurs systèmes de labourage à vapeur. Les derniers perfectionnements dont la charrue à vapeur a été l'objet nous font espérer que ce nouveau mode de labourage ne tardera pas à se répandre dans les pays où l'on trouve, comme en Angleterre, le combustible à bon marché, de vastes domaines et des surfaces peu accidentées. Le nord de la France remplit ces conditions essentielles, et c'est là vraisemblablement que, à l'imitation des Anglais, nous verrons un jour la vapeur remplacer les animaux pour la traction de la charrue.

Parmi les herses, nous citerons, comme une idée nouvelle, l'invention des herses-chaînes, très-utiles pour le complet ameublissement des surfaces et pour l'enlèvement superficiel des mauvaises herbes en germination.

Les rouleaux divers produisent des effets qui sont de mieux en mieux compris dans les régions les plus avancées. Appliqués à point, ils modifient l'état physique du sol et produisent, sur les plantes en végétation, une compression qui développe et fortifie l'appareil souterrain. On va jusqu'à reconnaître qu'un coup de rouleau donné à propos arrête les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ravages des insectes sur de jeunes semis, ou bien procure à une céréale une force de tige et de racine capable d'en prévenir la verse. La partie française de la classe 48 offre les spécimens des roulcaux les plus utiles en grande culture.

Les nombreux semoirs exposés par plusieurs nations, notamment par l'Angleterre et la France, sont un signe manifeste des progrès de l'agriculture. Les semis en ligne n'ont aucune raison d'être dans les pays pauvres et mal cultivés; tout au contraire, on en conseille aux cultivateurs l'emploi dans les terrains riches où l'on a à cœur de bien façonner les cultures et de les tenir nettes de mauvaises herbes. On a vu, dans ces dernières années, les semis des céréales en ligne gagner beaucoup de terrain dans les pays où l'on cultive les betteraves pour la fabrication du sucre. Ce mode d'ensemencement a sur les semailles à la volée l'avantage d'économiser la semence, de placer la graine dans les circonstances les plus favorables à sa germination et de permettre les sarclages, indispensables au parfait nettoiement du sol.

Un point qui préoccupe vivement les régions les mieux cultivées, est d'arriver, pour le froment et les autres céréales, à des produits très-élevés, qui rendent ces cultures aussi avantageuses que celles des plantes industrielles. C'est à la mécanique agricole qu'on demande la solution de ce problème; elle seule produit les machines qui sèment en ligne, qui sarclent à bon marché et qui mettent les plantes dans les meilleures conditions de végétation. La céréale ainsi traitée rend beaucoup dans une terre riche et offre une grande résistance à la verse.

On a parlé de substituer aux semis en ligne de la culture à plat des semailles en billons pratiquées par des instruments spéciaux exposés au Champ-de-Mars.

Le billon, vieux comme l'agriculture, supprimé dans les fermes bien cultivées, et conservé seulement dans les terres pauvres et peu profondes, comme étant le seul moyen de doubler l'épaisseur de la couche arable et de fournir à la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plante une nourriture que ne lui donnerait pas le terrain disposé à plat, est-il appelé à reparaître et à jouer un rôle important dans les exploitations les mieux dirigées et les plus progressives ? D'après des essais bien conduits et bien réussis, on ne peut pas se dispenser d'accorder quelque attention à ce procédé qui, dans les nouvelles conditions où il est expérimenté, revêt les caractères d'une véritable invention appelée à apporter des modifications profondes à toutes les pratiques qui ont pour objet l'ameublissement, le nettoiement et la fertilisation du sol.

Le cultivateur, désarmé devant les cultures à plat, surtout devant celles qui sont semées à la volée, conserve au contraire une grande liberté d'action sur les plantes disposées en billons. En hiver elles n'ont rien à craindre de l'humidité, et elles restent accessibles aux ouvriers et aux animaux pour tous les soins qu'elles réclament pendant la végétation. Les vides des billons sont au besoin défoncés, hersés, fumés, arrosés, en même temps que les pleins portent une récolte qui profite immédiatement de ces mêmes façons. Les vides constituent une jachère sur laquelle, l'année suivante, sera assise une nouvelle culture. Les plantes billonnées, dans un sol d'une haute fertilité, acquièrent, dans les derniers mois de leur existence, une telle force de végétation que, au moment de la récolte, les vides des billons se trouvent complétement garnis. En somme, ces champs-là atteignent des rendements, sinon plus élevés, au moins égaux à ceux des cultures à plat.

D'après certaines expériences, la betterave et le blé billonnés donneraient les résultats les plus satisfaisants. Le billon aurait surtout pour effet de prévenir la verse dans les froments les plus denses et les plus vigoureux.

Les propagateurs du billon se louent beaucoup de pouvoir, en toute saison, confier aux vides de leurs billons les engrais dont on ne sait que faire en certains moments dans les cultures à plat.

Les plantes en lignes, qu'elles soient billonnées ou semées

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à plat, réclament pendant le cours de leur végétation des façons qui nettoient et ameublissent le sol. On a recours pour ces travaux à des houes diverses traînées par une ou plusieurs têtes.

L'Angleterre, pour le turneps et les céréales, et la France, pour la betterave, offrent sous ce rapport des machines qui ne laissent rien à désirer. On arrive ainsi à obtenir les interlignes nets, meubles et profondément remués sans le secours d'aucun travail à bras. La ligne seule exige que la main de l'homme l'éclaircisse, la nettoie et la façonne.

L'usage des semoirs et de la houe à cheval a permis de réduire considérablement les frais de main-d'œuvre des plantes sarclées, en ce qui concerne les travaux d'ensemencement et d'entretien ; mais la mécanique agricole n'a pas, jusqu'à présent, obtenu les mêmes succès dans les procédés qui ont pour objet la récolte des diverses plantes cultivées. Deux machines seulement ont été amenées à un grand degré de perfection et sont précieuses pour la dessiccation des foins naturels et artificiels, nous voulons parler de la faneuse et du râteau à cheval. L'Angleterre et la France en possèdent d'excellents modèles.

§ 3. — Faucheuses et moissonneuses.

Les faucheuses et les moissonneuses sont, de toutes les machines, celles que l'on attend avec le plus d'impatience. Dans beaucoup de localités, les bras manquent au moment de la moisson, et celui qui, le premier, aura trouvé une moissonneuse qui puisse remplacer les instruments à bras, sera considéré comme un bienfaiteur de l'humanité. La cherté et la rareté de la main-d'œuvre, lors de la maturité des grains, font perdre une portion de la récolte par la lenteur qu'on met à la préserver des funestes effets des intempéries.

Les Américains sont ceux qui ont le plus travaillé à résoudre ce problème important ; les premiers inventeurs poursuivent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur œuvre avec persévérance, et il ne serait pas juste de ne pas convenir que leurs efforts ont obtenu déjà de grands succès. Il est incontestable que plusieurs de ces machines fauchent très-convenablement les céréales et les fourrages dans certaines conditions déterminées : telle est surtout la moissonneuse *Mac-Cormick*. Elles arrivent à faire la javelle d'une manière satisfaisante. Dans les pays où les bras manquent, ce procédé de moissonnage peut rendre des services considérables.

La promptitude de l'exécution et la facilité d'appliquer à un domaine, quelle qu'en soit l'étendue, autant de moissonneuses qu'on le juge à propos, font passer sur des imperfections qui n'ont pas partout la même importance et qu'on n'évite pas toujours dans l'ancien système de moissonner. La meilleure moissonneuse, très-supérieure à la faux, à la sape et à la faucille pour la rapidité du travail, est presque toujours inférieure à ces instruments pour la coupe et pour la javelle. S'il s'agit de récoltes versées très-fortes ou mélangées d'herbes, les avantages des instruments à main seront encore plus évidents. Il arrivera même que, maniés par une main très-habile à prendre le sens de la récolte, ils fonctionneront très-bien, alors qu'il sera impossible de rien faire avec une moissonneuse mécanique. C'est-à-dire que les instruments à bras constituent jusqu'à présent le procédé le plus parfait pour la coupe des fourrages et des céréales; c'est celui qui fonctionne le mieux, dans les conditions les plus variées, qui donne la javelle la plus régulière et la mieux faite, qui généralement coupe le plus près et perd le moins de paille sur le champ. Ceci explique la lenteur des moissonneuses à se répandre dans les contrées à culture intensive, où les riches récoltes trouvent encore, au moment de la moisson, des ouvriers en quantité suffisante pour la bonne exécution des travaux. On sait que, dans certains pays, les artisans et les ouvriers de l'industrie laissent leurs occupations ordinaires pour se consacrer à la moisson, qui leur procure un salaire plus élevé pour eux et toute leur famille. Dans de telles conditions, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moissonneuses mécaniques le cèdent aux anciens procédés, mais elles reprennent le premier rang et deviennent indispensables dans les pays où il y a peu de population et d'immenses surfaces à récolter, conditions qu'on rencontre Amérique et dans diverses parties de la Russie méridionale.

Nous ne devons pas dissimuler que la moissonneuse est une machine délicate, sujette à une usure rapide et à de fréquentes réparations. Il est bon d'en avoir en réserve qui soient prêtes à remplacer immédiatement celles qui viennent à manquer pendant la moisson. Il faut se munir de pièces de rechange, et avoir constamment à sa disposition un mécanicien qui sache promptement les réparer.

Les modèles que les Américains ont envoyés à l'Exposition universelle ont reçu, dans ces dernières années, des perfectionnements qui en augmentent la solidité et qui ont pour résultat principal de bien faire mécaniquement la javelle.

On abandonne de plus en plus le système où la javelle se faisait péniblement par la main de l'homme. Après l'Amérique, les nations qui font le mieux cette machine sont la France, l'Angleterre, l'Espagne et la Russie.

§ 4. — Machines à battre.

Si jusqu'ici, en dehors des États-Unis et de l'Angleterre, la faux cède peu de terrain aux machines à faucher, il n'en est pas de même du fléau devant les machines à battre. Ici la victoire est complète ; la machine fait mieux que l'instrument à bras et, dans la grande culture aussi bien que dans la petite, la batteuse mécanique est devenue le procédé le plus économique et le plus usité. Il est vrai que la mécanique agricole a réalisé de ce côté des prodiges de perfectionnement. On a des batteuses de toutes les dimensions, de tous les prix, de tous les systèmes. Elles fonctionnent par l'eau, la vapeur ou les animaux ; les unes rangent la paille aussi bien que le fléau, les autres la brisent comme le rou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leau ou le pied des chevaux. Il y en a qui rendent le blé vanné, propre pour le marché ; tandis que d'autres, plus simples et moins chères, ne font que le battage du grain qui est l'opération la plus pénible et la plus chère.

L'Angleterre a la spécialité des puissantes machines qui font le plus de travail et le travail le plus parfait. Ces engins forment la partie la plus brillante de l'exposition anglaise.

La France offre de bonnes imitations de ces machines anglaises ; mais elle se distingue dans la construction des petites machines à deux ou à quatre chevaux ; elles sont solides, bien construites et à la portée, par leur bas prix, de la moyenne et de la petite culture.

A sa sortie de la machine à battre, le grain n'a pas toujours toute la pureté désirable ; il est mélangé à des semences étrangères et à certaines impuretés, dont le poids et le volume rendent l'extraction plus ou moins difficile. Si on veut en faire du grain de première qualité pour la moisson ou pour les ensemencements, il faut le repasser dans des tarares et dans des trieurs qui font la séparation de la bonne semence d'avec la mauvaise. Dans ce genre de travail, aucune nation ne s'est montrée supérieure à la France ; ses trieurs ont atteint un haut degré de perfection et permettent de pousser le nettoyage des grains aussi loin qu'on puisse le désirer. L'appareil Josse est une invention récente qui mérite une mention particulière ; à d'autres avantages il joint celui de remplacer mécaniquement le travail du criblage à bras, opération pénible et difficile qui mettait les producteurs et les négociants sous la dépendance des cribleurs de profession.

§ 5. — Machines d'intérieur de ferme et machines diverses.

Les machines d'intérieur de ferme, destinées à la préparation de la nourriture du bétail, occupent une place importante. Dans les expositions anglaise et française on voit des hache-paille, des coupe-racines, des concasseurs et plusieurs autres

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

petits instruments répondant aux besoins divers d'une alimentation qui se perfectionne beaucoup dans les pays de bonne culture, où l'on reconnaît que les fourrages hachés et fermentés sont d'un usage plus avantageux et d'une assimilation plus facile pour les animaux.

Pendant que l'agriculture cherche à substituer les machines aux instruments à bras, la viticulture s'efforce également de diminuer les frais de main-d'œuvre de la vigne, en remplaçant, dans ses façons, le travail de l'homme par celui des animaux. Depuis un temps immémorial, les vignobles du sud et du sud-ouest de la France se façonnent en grande partie par les bœufs ou les mulets; mais la Bourgogne et la Touraine, en possession de plantations rapprochées, donnent toutes les façons de la vigne à bras d'homme. L'Exposition de 1867 offre une série de charrues et de houes vigneronnes de la force d'un cheval, et qui sont destinées à remplacer les façons à bras dans les nouveaux vignobles du centre de la France où les ceps sont en lignes et disposés convenablement pour le passage de ces instruments.

L'exposition murale de la classe 48 comprend des plans de ferme, de drainage, de dessèchement, qui fournissent des détails fort intéressants sur l'exécution de ces divers travaux.

Les plus importantes de ces exploitations se distinguent par des constructions simples, économiques et commodément disposées pour le service de la ferme. Des chemins de fer, qui vont des magasins aux étables et des étables à l'emplacement du fumier, facilitent le mouvement des produits encombrants vers toutes les parties de la ferme et permettent de diminuer l'effectif des serviteurs affectés aux soins du bétail. Ces plans montrent, en outre, le mode de fabrication des fumiers dans les fermes réputées les mieux tenues et les mieux dirigées.

Presque toutes ces fermes sont munies de machines à vapeur fixes ou locomobiles donnant le mouvement à la machine à battre, aux hache-paille, coupe-racines, concasseurs, pom-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pes, etc.; quant à la distribution de l'eau, elle se fait dans toutes les étables par des tuyaux qui la reçoivent d'un réservoir supérieur alimenté par une pompe.

CHAPITRE II.

ENGRAIS.

Plus l'agriculture fait de progrès, plus la question des engrais acquiert d'importance aux yeux du cultivateur. La science et l'expérience démontrent que toutes les récoltes quelles qu'elles soient, sont épuisantes pour le sol qui les produit. Le sol ne retrouve sa fertilité primitive qu'autant qu'on y rapporte les substances que les récoltes y ont puisées pendant le cours de leur végétation. L'engrais vert enfoui sur le terrain qui l'a produit rend au sol tout ce qu'il lui a pris et de plus quelques substances qu'il a tirées de l'air et des eaux pluviales. Dans ce cas, la récolte produite et incorporée au sol fait plus que compenser l'épuisement du terrain. Si, d'une culture de betterave ou de colza, on se bornait à retirer du sucre et de l'huile (deux substances qui proviennent de l'air et de l'eau) en remettant exactement dans le terrain les autres produits de la récolte, dans ce cas encore le terrain n'aurait perdu aucun élément essentiel et sa fertilité resterait la même après comme avant ces cultures.

Malheureusement les choses ne se passent pas ainsi ; on commence par emporter du champ la récolte totale, et celle-ci déposée à l'usine ou à la ferme, subit une série de transformations qui mettent en péril les éléments de fertilité qu'elle contient, soit dans les résidus, soit dans ses produits consommables ou vendables ; et Dieu sait quand le champ ainsi dépouillé les retrouvera dans les mêmes proportions et dans le même état d'assimilation! La betterave est-elle vendue à une sucrerie sans retour de pulpe équivalente, les éléments

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sortis du champ qui a produit cette betterave iront féconder d'autres terres et seront perdus à jamais pour le domaine d'où ils proviennent.

Il en est de même pour le cultivateur qui fait du colza sans se soucier de reprendre ses tourteaux et de convertir en fumier toutes les pailles qui résultent de cette culture. Les animaux de travail et de rente sont une autre cause de destruction des matières fertilisantes du sol. Les ventes de grains et de fourrages privent également les domaines d'éléments dont l'enlèvement a pour conséquence l'appauvrissement du sol, si on ne s'empresse de les y rapporter par un moyen quelconque.

Tout cultivateur qui veut maintenir la fertilité de son domaine doit veiller attentivement à ce qui sort de ses champs, sous forme de récolte, et de sa ferme sous forme de produit végétal ou animal. Il doit s'ingénier à rapporter exactement dans ses terres tous les éléments que ses spéculations en font sortir.

Les substances dépensées par les récoltes se retrouvent parfois dans la localité même où s'est opéré l'épuisement : on les reprend dans les alluvions des cours d'eau, dans les couches vierges du sous-sol, et même à la surface des portions de terrains qui n'ont jamais été cultivées. Un labour très-profond ou quelques frais de transport et de main-d'œuvre rapportent dans le sol ces principes dont il est dépourvu et refont sa fertilité pour une nouvelle série de récoltes.

L'emploi des fumiers de ferme est un autre moyen plus efficace et plus certain de fertilisation. Sachons toutefois que les fumiers ne représentent jamais qu'une partie de la récolte, et qu'ils sont dépouillés des éléments contenus dans ce qui a été vendu ou dans ce qui a été absorbé par les animaux. Il est clair que tout domaine qui, pour réparer l'épuisement du sol par les cultures, n'aurait d'autre moyen que les fumiers de la ferme s'appauvrirait successivement et finirait par devenir complétement stérile.

Les cultivateurs intelligents comprennent parfaitement les principes qui président au maintien et à l'augmentation de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fertilité du sol. Quand ils le peuvent, ils renvoient immédiatement au champ les résidus des récoltes de l'usine ou de la ferme ; ils savent que le séjour de ces résidus dans l'intérieur des cours les expose à des fermentations et à des lavages qui les appauvrissent d'éléments utiles aux plantes. On voit des distilleries où la vinasse résultant de la betterave fabriquée dans la journée est renvoyée immédiatement par une pompe foulante sous forme d'engrais liquide dans des cultures qui les absorbent et les utilisent sans aucune perte de temps. Il en est de même des fumiers et des purins que certains agriculteurs emportent directement des étables dans les champs.

A certains moments de l'année, il n'est pas toujours possible de porter les fumiers frais dans les champs et de les y enterrer immédiatement. Dans la plupart des cas, on est forcé de les conserver en tas dans les cours. On obtient ainsi des fumiers plus ou moins décomposés qui sont d'une assimilation plus prompte et plus facile et qui conviennent mieux que les fumiers frais à certaines natures de terres. Les plans de l'exposition rurale indiquent le mode de fabrication usité dans les meilleures fermes du nord de la France. On met ces fumiers sur un emplacement couvert et parfaitement à l'abri des eaux qui viennent des cours et des bâtiments, et on les soumet à un tassement régulier et répété par le piétinement des animaux.

En été principalement, les bêtes à cornes sont mieux sur ces fumiers pendant la nuit que dans les étables plus ou moins chaudes. On y dispose des rateliers et des mangeoires qui permettent de leur y donner leur repas. Cette compression empêche l'accès de l'air dans la masse, condition qui modère la fermentation et qui produit des fumiers n'ayant presque rien perdu pendant leur séjour à la ferme et qui sont, au moment de leur emploi, dans l'état convenable pour les cultures. Malgré les soins dont ils sont l'objet, les fumiers ne peuvent rendre au sol la totalité de l'azote, des phosphates, de la potasse et de la chaux enlevés par les récoltes dont une

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

portion importante est sortie de la ferme. De là la nécessité d'avoir recours à des sources extérieures pour réparer complétement l'épuisement du sol. Ici commence le rôle des engrais commerciaux dont les plus importants et les plus utiles figurent au Palais dans la classe 48.

Les engrais commerciaux devraient avoir pour objet de rapporter dans le domaine de l'agriculture les résidus des produits végétaux et animaux qui s'accumulent et se perdent en grande partie dans les centres de population. Si, à la ville comme à la ferme, on veillait attentivement à recueillir, au profit de l'agriculture, la portion des produits qui n'est point absorbée et dépensée par ceux qui consomment le pain, la viande et les autres productions de la terre, l'épuisement du sol serait presque totalement réparé par les transports, sur les domaines ruraux, de ces résidus à l'état de vidange, de boues de ville et de déchets de fabrication.

Il faut en convenir, les choses sont loin de se passer ainsi. Au village aussi bien qu'à la ville les engrais liquides et solides de l'homme prennent plus souvent le chemin de la rivière que celui de la ferme, ou bien encore on est heureux de trouver pour l'établissement des fosses d'aisance un terrain à sol perméable où toutes les matières disparaissent, par absorption, dans les profondeurs du sous-sol, perdues à jamais pour l'agriculture. La perte des engrais de ville est l'une des causes les plus importantes et les plus positives de l'épuisement des campagnes ; c'est celle qui contribue le plus à rompre l'équilibre qui devrait s'établir entre les exportations et les importations des matières fertilisantes du sol.

L'industrie s'efforce de recueillir ces engrais de ville sous une forme qui en facilite le transport et l'application aux différentes cultures.

Il y a, dans la classe 48, des échantillons de ces diverses fabrications. Les difficultés inhérentes à ce genre de commerce qui se compliquent de la police et de la salubrité des villes n'ont permis jusqu'à présent d'utiliser que la plus faible partie de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces engrais. Cette destruction de matières fertilisantes doit être compensée à tout prix par les agriculteurs, sous peine de stériliser leurs champs et de marcher à une ruine inévitable. Rien ne coûte pour éviter un tel désastre ; on va jusqu'en Amérique pour reprendre sous forme de guano ces mêmes éléments qui se perdent dans le gouffre des villes. Après avoir exploré toute la surface du globe pour retrouver ces substances précieuses que les cultures successives enlèvent au sol, on s'est mis, dans ces dernières années, à les demander aux couches souterraines de la terre. On est ainsi arrivé à la découverte des phosphates fossiles qui procurent à bon marché l'une des matières les plus précieuses qu'on trouve dans le guano. L'exhibition de ces engrais terrestres, due à plusieurs exposants français, est la constatation d'un fait d'une grande portée pour l'agriculture. Cette substance, dont l'emploi se répand de plus en plus, et notamment dans les défrichements des landes, sera encore plus appréciée quand les gisements de guano seront complétement épuisés, ce qui doit se produire dans un temps donné.

L'exposition belge fournit une substance extraite du sol, qui a été donnée comme ayant intérêt pour l'agriculture. Nous voulons parler d'un calcaire dont la porosité facilite la production du salpêtre. On trouve là un moyen simple et peu coûteux de rendre aux terres cultivées l'azote qu'elles perdent par les récoltes. Enfin la Prusse a envoyé une belle collection des engrais potassiques les plus employés en agriculture.

Mentionnons encore d'autres fabrications d'engrais qui ne s'adressent plus aux couches du globe, mais au domaine de la mer, c'est-à-dire aux engrais de poisson. On les trouve dans les ports de mer. En recueillant les débris de pêcheries, elles fournissent à l'agriculture des engrais azotés d'une grande activité. La France et plusieurs nations du nord de l'Europe ont des fabrications de cette nature, qui ont une certaine im-

(1) Voir pour plus de détails la section VI de cette classe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

portance. Ces matières ont de la valeur pour les localités les plus voisines des ports de mer; mais elles sont une bien faible compensation à la perte des engrais de tout genre qui s'en vont à la mer, emportés des villes par les rivières et les fleuves.

Cette question des engrais, envisagée à un point de vue général telle que l'esprit se la représente à l'aspect des objets venus de tous les pays à l'Exposition universelle, donne une idée de l'harmonie et de la solidarité qui règnent entre toutes les nations, et des services qu'elles se rendent entre elles sans s'en douter, afin de maintenir dans l'écorce terrestre un certain équilibre entre les substances qui sont la base de l'alimentation des plantes.

Si la France était abandonnée à ses propres ressources, la stérilité ne tarderait pas à désoler nos campagnes; mais les autres parties du monde nous donnent le guano et des grains divers qui, directement ou par leurs résidus, rendent au sol une partie de sa fécondité. L'Espagne, la Belgique, la Prusse et d'autres contrées peuvent également lui fournir des engrais minéraux azotés et potassiques qui, ajoutés aux principes calcaires et phosphatés que nous possédons, complètent la série des matières les plus utiles à la vie des plantes cultivées. Enfin la mer, par ses fucus et ses débris de poisson, fournit aussi un appoint important d'engrais aux domaines qui s'étendent sur la zone maritime de l'Océan et de la Méditerranée.

Les efforts des exposants de la classe 48 convergent vers deux points qui répondent à des nécessités de premier ordre et qui, à ce titre, intéressent très-vivement l'agriculture de toutes les nations. Il s'agit, en premier lieu, de parer à l'insuffisance des bras par l'emploi mieux entendu et plus général des machines; en second lieu, d'assurer le haut rendement des récoltes par une bonne application des engrais de ferme et du commerce. Il n'est pas douteux que l'Exposition universelle ne hâte et ne facilite la solution de ces deux questions d'une importance capitale pour l'agriculture.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

MACHINES LOCOMOBILES ET MACHINES ROUTIÈRES

PAR M. TRESCA.

§ 1. — Machines locomobiles.

En même temps que les directeurs des exploitations agricoles s'habituent à se servir d'engins plus perfectionnés, il leur est indispensable d'avoir à leur disposition les moyens d'obtenir la force motrice nécessaire pour mettre en mouvement leurs machines.

C'est à ce point de vue surtout que les machines locomobiles peuvent être considérées comme étant du domaine de l'agriculture. Elles y rentrent encore à un autre titre : c'est que, en Angleterre, leur construction est exclusivement entre les mains des constructeurs d'instruments et de machines agricoles. Si, en France, plusieurs de nos constructeurs les plus éminents se livrent spécialement à la confection des locomobiles, nous en avons aussi un grand nombre qui considèrent ce genre de machines comme un accessoire obligé de tout atelier voué aux instruments d'agriculture.

Il n'est donc pas hors de propos de considérer les machines locomobiles dans leurs rapports avec les arts agricoles et de rechercher les tendances que l'Exposition a mises en lumière dans ce genre de construction. En se plaçant d'abord au point de vue de l'économie relative qui devrait résulter de leur application à certains travaux, faits ordinairement par

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des hommes ou par des chevaux, on s'était d'abord contenté de leur donner la puissance convenable, sans trop s'inquiéter de la limite des avantages que l'on pouvait ainsi réaliser.

Mais, depuis lors, on s'est aperçu que, particulièrement dans les travaux agricoles, la consommation du combustible n'était pas la seule chose dont il fallût tenir compte, et que, dans ces machines à vapeur, dont la première condition, sans doute, est d'être rustiques, il y avait autant de raisons que pour les machines de manufactures, à rechercher les meilleures conditions de production et d'emploi de la vapeur. Aussi, les machines actuelles sont-elles, sous ce rapport, très-améliorées.

Les raisons de cette amélioration générale sont d'ailleurs bien faciles à comprendre. Dans les locomobiles, chaque kilogramme de combustible vaporise de 8 à 9 kilogrammes d'eau, et pour une machine de dix chevaux, par exemple, qui consommerait 3 kilogrammes de houille par force de cheval et par heure, on ne dépenserait pas moins de 270 kilogrammes d'eau dans le même temps. Avec une machine meilleure, on pourrait économiser peut-être le tiers de cette eau, soit près de cent litres par heure, et en plein champ, par exemple, cette différence ne doit pas être négligée. Dans quelques essais que nous avons eu à faire dans la campagne, nous avons reconnu que souvent l'approvisionnement de l'eau coûtait plus cher que l'approvisionnement du charbon, et que le service de cette eau, au moyen d'un attelage et d'une voiture spéciale, était une cause d'embarras considérable.

C'est à cette raison prépondérante qu'il faut attribuer l'emploi plus général, dans les locomobiles, des réchauffeurs de l'eau d'alimentation et des systèmes de détente perfectionnés. Il n'y a plus aujourd'hui de machine à vapeur sans détente, et la disposition qui consiste à l'obtenir au moyen d'une seule plaque de tiroir, en compensant les espaces nuisibles par une grande compression, constitue le mode de distribution le plus simple qui soit employé maintenant. On est arrivé à ce point de perfection que, en employant des pressions élevées, de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

six à sept atmosphères, par exemple, et à l'aide d'un bon réchauffeur, on peut, avec cette disposition, abaisser la consommation jusqu'à deux kilogrammes de bonne houille par force de cheval et par heure. C'est ce que nous avons constaté avec la machine de M. Gérard de Vierzon, qui se recommande surtout par sa grande rusticité. Le résultat que nous venons d'indiquer a été constaté dans une expérience de longue durée, surveillée d'une manière spéciale, et avec toutes les précautions que nous pouvons prendre dans nos essais au Conservatoire.

Dans d'autres machines, plus compliquées il est vrai, les constructeurs se sont proposé d'abaisser encore la consommation au moyen de dispositions de détente variable, soit à la main, soit par l'action du modérateur. Tout le monde connaît à cet égard les locomobiles de M. Farcot, de M. Calla et de M. Rouffet. Parmi toutes ces machines, nous avons expérimenté celles qui, quoique moins connues du public, nous ont paru présenter les dispositions les plus perfectionnées et les mieux entendues pour le bon emploi du combustible dans le générateur et la meilleure utilisation de la vapeur dans les cylindres : ce sont celles de MM. Ransomes et Sims, en Angleterre, et de M. Damey, en France. Ces machines sont à détente variable par l'action du régulateur, et leurs organes de distribution sont établis avec tout le soin que comporterait une grande machine de manufacture. Toutes deux réchauffent l'eau d'alimentation, et elles ont donné régulièrement une consommation de $2^{k}05$ et de $1^{k}53$ par force de cheval et par heure dans des expériences faites avec le plus grand soin.

Nous ne pouvons, sans l'aide des figures, décrire ces organes, mais nous devons signaler, dans la chaudière de M. Damey une disposition fort ingénieuse, à l'aide de laquelle la flamme se rend directement à la cheminée pendant la période d'allumage et est ensuite obligée de faire, en service courant, trois parcours successifs pendant lesquels sa chaleur est fort bien utilisée.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La plus grande nouveauté, parmi les chaudières, est celle qui est représentée par la disposition de M. Field. Nous ne savons pas ce qu'elle produit de vapeur par kilogramme de combustible, mais les doubles courants qui se forment dans ses tubes verticaux lui donnent la propriété, bien précieuse, surtout pour son application aux pompes à incendie, de se mettre en vapeur en quelques minutes, et d'être aussitôt prête à faire fonctionner la machine à laquelle elle est liée. Nous verrons que la disposition verticale offre aussi, pour les machines routières, une particularité intéressante.

En même temps que l'on a complété la machine, sous le rapport de la meilleure utilisation du combustible, on a cherché à la simplifier sous d'autres rapports. C'est ainsi que l'on remarque, à l'Exposition, l'absence presque complète des machines à plusieurs cylindres, que l'on préférait à partir de 15 chevaux, à cause de leur régularité et de la facilité de leur mise en marche. On préfère aujourd'hui l'emploi d'un volant plus lourd qui conduit au même résultat, en ne conservant plus qu'un cylindre, de plus grande dimension il est vrai, mais ne comportant plus que la nécessité d'un seul piston, d'une seule tige et d'une seule bielle. Les chances d'accidents sont ainsi amoindries, et le graissage exige moins d'attention, de la part du chauffeur.

Il importe d'ailleurs de faire remarquer que, imitant en cela le mode d'établissement des machines locomobiles en France, les constructeurs anglais en arrivent à se servir de grandes plaques de fondation, placées sur le dos de leurs chaudières, pour établir une solidarité plus parfaite entre toutes les parties du mécanisme. Afin d'éviter que le chauffeur n'exagère la pression, ils ont aussi, presque tous, une soupape de sûreté renfermée dans une boîte spéciale, disposition qui assure le fonctionnement de la machine contre toute chance d'explosion.

On voit, par ces indications sommaires que, sous le rapport des machines locomobiles, la construction se rapproche en France et en Angleterre d'un même type, sans qu'on puisse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

signaler d'autres perfectionnements que dans les détails déjà cités. Au reste, le rôle des machines locomobiles, dans l'industrie manufacturière, ne le cède plus en importance à celui qui formait, jusqu'alors, leur principal domaine dans l'agriculture; elles deviennent de plus en plus d'utiles auxiliaires aux machines motrices principales, et l'industriel, soucieux de ses intérêts, qui sont étroitement liés à la régularité de sa fabrication, ne saurait manquer de les tenir en réserve pour se mettre à l'abri de tout chômage et pouvoir élever à volonté la puissance de la vapeur jusque dans les opérations secondaires qu'il peut avoir à exécuter près de son usine ou dans ses parties isolées.

A l'inverse, il semblerait que la locomobile simple, telle que nous venons de la définir, dût être, dans un avenir prochain, remplacée dans les exploitations agricoles par un type plus complet, que l'on désigne, dès à présent, sous le nom de locomotive agricole.

Autant la simple locomobile avait attiré l'attention de tous les hommes compétents à la première Exposition universelle de 1851, à une époque où elle était pour ainsi dire inconnue en France, malgré les essais antérieurs de M. Rouffet, autant nous avons été frappés, à l'Exposition de 1862, de voir le nombre des machines dites de traction, véritables locomotives qui, destinées à fonctionner sur les routes en transportant de lourds fardeaux, paraissaient déjà être employées en Angleterre, dans les grandes exploitations agricoles. Elles ne portaient pas encore le nom qu'on leur donne avec raison aujourd'hui, celui de locomotives routières; et cette désignation nous oblige à caractériser chacune des classes, dans lesquelles on doit grouper dès maintenant les diverses locomotives que nous avons rencontrées en grand nombre à l'exposition anglaise. Il faut, en effet, distinguer entre la locomotive agricole et la machine routière, et cette distinction n'est pas un des faits les moins intéressants de l'exposition.

La locomotive agricole est une machine qui peut se dépla-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cer par l'action de la vapeur, sur les routes ou dans les champs, entraînant derrière elle, soit une machine à battre, soit l'attirail nécessaire pour la culture à vapeur, soit pour toute autre destination. Il importe peu que sa marche soit rapide, mais il faut encore que, amenée sur le terrain, elle puisse servir à tous les usages d'une locomobile, c'est-à-dire qu'elle puisse être employée, comme machine motrice, agissant par engrenages ou par courroies, sur telle machine opératoire qu'on voudrait lui faire commander. Ce type de machine doit être relativement léger, pour ne point s'embourber dans les terrains meubles ; il faut qu'il soit muni d'un volant pour régulariser le mouvement volant qui, dans la plupart des cas, servira de poulie de transmission ; enfin, il est convenable que la machine soit gouvernée par un modérateur, afin que sa vitesse reste constante, malgré les variations très-considérables du travail qu'on aurait à lui demander, par exemple, lorsqu'elle conduirait une machine à battre.

L'autre classe, distincte de la précédente et qui comprend la machine routière proprement dite, est formée de machines constituées fortement pour traîner de lourds fardeaux sur de bonnes routes ; elle est construite de manière à répondre le mieux possible à cet usage spécial ; elle n'a pas nécessairement de volant, puisqu'elle ne doit pas servir à faire mouvoir une transmission ; elle peut aussi se passer de modérateur, car elle ne risque pas de s'emporter, par suite de la diminution accidentelle de la résistance, puisqu'elle trouvera toujours sur le sol qu'elle parcourt un modérateur plus que suffisant.

Dans les applications mécaniques comme dans bien d'autres applications, la définition nette et précise du problème à résoudre est le plus grand pas vers la solution, et la distinction si complète que nous venons d'indiquer doit être un guide sûr pour l'amélioration des deux types. A mesure qne les machines se perfectionnent, le mode de construction, la composition même de l'appareil, se spécialisent de plus en plus, et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nous ne leur demandons plus de pouvoir s'appliquer aux destinations les plus diverses.

En ce qui concerne les locomotives agricoles, nous devrons, d'après ces considérations, trouver chez elles toutes les qualités des locomobiles; seulement, il sera nécessaire, au moyen d'organes spéciaux, de pouvoir, à volonté, faire tourner les roues motrices dont l'adhérence ne devra pas être très-considérable, puisqu'elles n'auront pas de lourds fardeaux à traîner.

La machine sera habituellement dans la ferme où elle servira à tous les usages d'une locomobile ordinaire, et elle ne sortira qu'à son temps et à son heure pour faire, suivant les besoins et au dehors, quelques opérations de labourage ou de battage. Ainsi envisagée, la locomotive agricole est surtout représentée chez les constructeurs anglais, notamment chez MM. Clayton, Shuttleworth et C^ie^ et chez M. Garrett et fils; il serait à désirer que nos plus habiles constructeurs consentissent aussi à rendre locomotives leurs locomobiles, comme le font aujourd'hui presque tous les établissements anglais qui s'adonnent aux machines agricoles.

Les machines de M. Fowler et de M. Lotz rentreraient dans la même catégorie, au point de vue de la double propriété dont elles jouissent de se déplacer pour porter leur travail à pied d'œuvre, mais elles sont plus spéciales que les précédentes en ce qu'elles comportent les dispositions plus particulièrement nécessaires au labourage à la vapeur : elles seront plus utilement examinées dans la partie du Rapport général qui s'occupe des façons de la terre.

§ 2. — Machines routières.

Quant aux machines routières dont nous avons pu étudier, en France et en Angleterre, le fonctionnement en service courant, nous entrerons à ce sujet dans quelques détails qui permettront d'apprécier le côté économique de la question

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et peut-être de faire envisager le côté vraiment utile de leurs applications.

Les deux machines routières que nous avons plus particulièrement étudiées sont celles de M. Lotz, de Nantes, et celles de M. Aveling et Porter, de Rochester. Les constructeurs anglais ont déjà livré à l'industrie et à l'agriculture un grand nombre de ces machines; le constructeur français en a construit une douzaine seulement, qui sont employées plutôt comme essais qu'en service définitif. On comprend, dès lors, les avantages que la machine anglaise doit aux perfectionnements successifs qu'amènent l'usage et la nécessité de parer aux difficultés qui sont mises en évidence par la pratique de chaque jour. Chacune des machines peut développer 15 à 20 chevaux-vapeur; la machine Lotz pèse 10 tonnes, la machine Aveling et Porter en pèse 15.

Ce poids énorme, que la vapeur doit mettre en mouvement, malgré les résistances que le sol lui oppose, malgré l'excès de travail qu'il faut dépenser dans les moindres rampes, indique clairement que ces sortes de machines sont destinées à traîner de très-lourds fardeaux à une vitesse très-faible, et il importe, dans l'intérêt du succès, que cette condition soit bien comprise et bien appréciée.

Il résulte de nos déterminations, que le coefficient de traction de ces lourds véhicules, sur de bonnes routes, doit être évalué à un vingt-cinquième de leur poids, ce qui, pour un poids moyen de 12,000 kilogrammes, revient à un effort de 480 kilogrammes. A la vitesse de 1 mètre par seconde, le travail correspondant serait de 480 kilogrammètres et représenterait plus de 6 chevaux-vapeur. Ainsi, la machine dépense, pour se traîner, à la vitesse de 1 mètre, près du tiers de la puissance qu'elle développe, et à celle d'un peu plus de 3 mètres, elle s'épuiserait à se traîner seule en terrain même horizontal.

Pour obtenir un effet utile, convenable, il résulte des chiffres mêmes qu'il importe de rester bien en deçà de cette limite et de se restreindre le plus possible, sous le rapport de la vi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tesse. Une excellente condition serait celle de 1 mètre à 1m50 par seconde ou de 4 à 6 kilomètres par heure. On voit que, sous ce rapport, les locomotives routières se rapprocheraient de l'allure du roulage, et conviendraient fort peu, dans leur état actuel, au transport des voyageurs.

Le bon sens d'ailleurs suffirait pour justifier cette conclusion; car il est évident que si la circulation lente d'une machine à vapeur, au milieu des véhicules traînés par des chevaux, présente rarement des inconvénients sérieux, il en serait tout autrement pour une marche rapide, qui pourrait effrayer davantage les attelages et ne pas laisser aux autres véhicules le temps de se garer à leur approche.

Dans les rampes, il faut encore amoindrir la vitesse, et comme on doit développer alors une quantité de travail plus grande, il importe de ne pas diminuer la rapidité de la marche de l'appareil moteur, et, par conséquent, il est indispensable d'installer un système d'embrayage qui permette de faire varier le nombre de tours de roue sans pour cela modifier la marche du piston. Les deux machines que nous comparons satisfont, l'une et l'autre, à cette condition indispensable.

Dans l'une comme dans l'autre, les constructeurs ont adopté un cylindre unique, qui suffit pour les démarrages et qui simplifie le nombre des pièces. Dans la machine française, la chaudière verticale offre une sécurité particulière par rapport aux dénivellations qui pourraient se produire dans les pentes accidentées du terrain à parcourir: ces dénivellations sont alors moins marquées et ne risquent pas d'être momentanément une cause d'explosion, dans le cas où les parties supérieures des tubes viendraient à être découvertes.

Les roues motrices sont à larges jantes (0m50), ce qui les fait ressembler à de véritables rouleaux compresseurs. Aussi n'ont-elles aucune action destructive sur le macadam en bon état; mais, d'un autre côté, lorsque toute la charge porte sur un pavé, l'ébranlement et même l'enfoncement de ce pavé sont souvent inévitables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Il suffit de laisser porter sur l'avant train une faible partie du poids de la locomotiv epour que, en manœuvrant son essieu au moyen de la manette du gouvernail placée sous la main du conducteur, la direction convenable lui soit imprimée avec une grande facilité. MM. Aveling et Porter mettent en avant de leur locomotive une cinquième roue fort utile, ou plutôt un disque qui repose sur le sol par son propre poids seulement et par celui du brancard articulé qui le maintient. Ce disque, qui ne peut déterminer aucune détérioration sur le sol, aide beaucoup à la direction, que l'on peut alors confier à un jeune conducteur.

La plus grande difficulté consiste, dans les courbes de très-petit rayon, à rendre folle à volonté l'une des deux roues motrices. Les freins d'embrayage ne sont pas toujours assez sûrs pour être d'un bon usage, et le moyen le plus simple et le plus sûr paraît consister dans l'emploi d'une très-forte goupille (0^{m}08 de diamètre), à l'aide de laquelle on détermine la solidarité entre l'essieu moteur et la roue. Il suffit de retirer cette goupille de quelques centimètres pour rendre à la roue son indépendance et lui permettre de rester immobile si l'on veut pivoter autour d'elle.

Mais, ce qu'il faut surtout faire ressortir, c'est l'énorme charge qu'une pareille machine peut traîner. Nous avons remorqué avec elle, sur un parcours accidenté de 15 kilomètres, avec quelques rampes de 0.04 et des pentes correspondantes, un train de 5 wagons, pesant ensemble 60,000 kilogrammes. Il est vrai que le temps était sec, que le macadam était en très-bon état et établi sur un fond parfaitement solide.

Quand on a pu suivre de pareils essais dans tous leurs détails, on croit forcément à l'avenir des locomotives routières, en tant qu'on les appliquera dans des circonstances analogues.

Il suffirait de faire de l'eau tous les 7 à 8 kilomètres et l'on ne dépenserait pas plus de 0^{k}25 de combustible pour chaque tonne de poids brut transportée à un kilomètre. Ce chiffre est celui que nous avons obtenu dans les conditions

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui précèdent, avec une vitesse moyenne de 4 kilomètres par heure.

Il est vrai que trois hommes, un conducteur, un mécanicien et un aide sont absolument indispensables, et c'est là encore une raison d'insister sur la convenance des lourds convois.

Par suite de la facilité qu'offrent les transmissions pour diminuer la rapidité de l'avancement dans les rampes, la machine n'a pas besoin de chevaux de renfort, ou plutôt elle les trouve en elle-même et peut ainsi donner un coup de collier fort énergique toutes les fois qu'il en est besoin.

Sans doute, les frais de traction sont incomparablement plus élevés avec les locomotives routières qu'avec les locomotives de nos chemins de fer, sur lesquels le coefficient de traction est au moins six fois moindre; mais, quand le trafic n'est pas suffisant pour permettre utilement l'établissement d'une voie ferrée, les locomotives routières peuvent rendre de grands services sans immobiliser le même capital, et dans des conditions qui paraîtront suffisamment rémunératrices, si on les compare à celles du roulage ordinaire.

Nous avons, à Paris, l'exemple journalier de machines analogues dans les rouleaux à vapeur qui fonctionnent toutes les nuits pour l'établissement et l'entretien de nos principales voies de communication. Les locomotives routières peuvent fonctionner en toute sécurité sur nos routes pendant le jour, et les facilités qu'elles offrent déjà, dans les conditions qui leur conviennent, ne sont pas un des faits les moins intéressants parmi ceux que l'Exposition de 1867 a aidé à vulgariser.

Elles sont surtout appropriées aux besoins des grandes industries agricoles, parce qu'elles ne consomment que quand elles travaillent, et seulement en raison du travail qu'elles opèrent. Elles seront surtout d'une grande utilité, au moment où les grands charrois mettent aujourd'hui tous les chevaux en réquisition; et elles doivent, en conséquence, être considérées comme une acquisition précieuse et digne d'encouragement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS FORESTIÈRES

PAR M. SERVAL.

Les forêts ont été longtemps considérées, même chez les nations les plus avancées en civilisation, comme des vestiges de l'état barbare, comme une sorte de richesse naturelle et sauvage dont on pouvait user selon les besoins éventuels de la consommation, sans se préoccuper d'en assurer la reproduction. Il est encore des contrées où les bois sont sacrifiés aux moindres usages ; où, selon l'énergique expression d'un historien « on abat deux pins pour faire une paire de sabots »; où enfin les forêts sont livrées à une destruction sans merci par le pâturage immodéré des chèvres et des moutons.

Cependant, à mesure que se développaient les besoins de la consommation, apparaissait la nécessité de soumettre l'exploitation des bois à une réglementation prévoyante. La nature a mis, au sein même des forêts, le germe de leur pérennité. Il fallait donc étudier les lois de la régénération naturelle, appeler la science au secours de l'application raisonnée de ces lois, se servir des bois eux-mêmes comme d'usines naturelles, où l'industrie de l'homme façonnerait à son usage les produits du sol.

C'est en Allemagne que sont nés les premières études forestières et les premiers progrès. C'est à ce pays qu'appartient l'honneur d'avoir découvert et appliqué, le premier, la méthode

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du « réensemencement naturel et des éclaircies ». Au mode presque grossier d'exploitation, connu sous le nom de « jardinage », et qui résumait naguère presque toute la science de l'aménagement, la méthode allemande a substitué un ensemble d'opérations culturales, embrassant toutes les phases du développement de la forêt, depuis la naissance du peuplement jusqu'à son exploitabilité.

§ 1. — France.

La France ne pouvait rester en dehors d'un tel progrès. Elle était d'autant plus sollicitée à le suivre que le sol de notre pays possède une merveilleuse aptitude à la culture des bois, et qu'il ne serait pas d'une administration intelligente de négliger un si précieux élément de richesse.

La pénurie des bois, par l'effet de défrichements inconsidérés ou d'aliénations malencontreuses de forêts domaniales, tend, d'ailleurs, à devenir plus grande encore, peut-être, en France que dans d'autres contrées. Notre importation en bois qui n'était, en 1855, que de 69,700,000 francs, s'est élevée, en 1865, à 150,700,000 francs. Les chemins de fer ne savent plus où prendre leurs traverses pour le soutenement des voies, et l'Exposition universelle de 1867 montre les tâtonnements de cette industrie pour la substitution d'autres matériaux aux bois qui commencent à lui manquer.

On voit, par ces considérations rapides, combien il importe de ménager ce qui nous reste de forêts, et de soumettre ces précieux débris au traitement, à la fois le plus conservateur et le plus productif possible.

Il reste en France environ 1,100,000 hectares de forêts appartenant à l'État; 2 millions aux communes et aux établissements publics, et 4 ou 5 millions aux particuliers. On ne possède point, avec quelque approximation, la contenance de ces derniers bois; car tous les relevés statistiques effectués à ce sujet ont pour base le cadastre, et chacun sait que ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

document, très-défectueux, dans le principe, en ce qui concerne les régions montagneuses, est devenu, presque sur tous les points, totalement suranné.

Aménagements. — Les trois modes de traitement principaux appliqués aux forêts sont la futaie, le taillis simple et le taillis composé ou taillis sous futaie.

Le traitement en futaie, qui a pour objet l'éducation des bois de grande dimension, est naturellement indiqué pour les bois de l'État, sans parler des bois résineux qui ne peuvent être traités autrement qu'en futaie.

Les forêts des particuliers soumises, par leur nature même, à d'incessantes mutations provenant de partages, licitations, etc., sont presque toutes aménagées en taillis simple, à la révolution de dix, quinze ou vingt ans. Enfin le taillis sous futaie constitue un régime mixte, convenant aux communes et aux établissements publics, nature de propriétaires qui participent de la qualité de l'État, par leur caractère d'être moral, et de la condition des particuliers, par les besoins éventuels auxquels ils sont fréquemment obligés de pourvoir.

Pendant ces dernières années, le matériel des exploitations forestières s'est enrichi de divers instruments nouveaux, qui figurent avec honneur à l'Exposition universelle de 1867.

Charrue forestière. — Il faut citer, en première ligne, cette charrue construite sur les indications d'un inspecteur des forêts. Cette charrue, établie sur le système des défonceuses, a pour objet de préparer le sol des coupes d'ensemencement de manière à favoriser la germination du plus grand nombre possible de semences tombées des arbres porte-graines. Devant passer sur un sol généralement inégal et entrecoupé d'obstacles, elle est à la fois solide, très-maniable et munie d'un appareil à levier qui permet le soulèvement des socs, quand il s'agit de franchir, soit une pierre, soit une souche, soit tout autre obstacle de même nature. Cet instrument paraît appeler à rendre de grands services en matière d'exploitation forestière.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Scieries.—Les scieries forestières destinées à transformer, sur place, les bois bruts en bois ouvrés, sont placées au sein même des forêts. Pour réaliser leur objet, elles doivent réunir les conditions les plus complètes de bon marché, ainsi que de facilité de maniement et de réparation. Les modèles présentés à l'Exposition de 1867, par l'École forestière de Nancy, ne laissent rien à désirer à cet égard. Ils offrent le spécimen des scieries généralement en usage dans les pays forestiers. Quelques essais heureux de scieries locomobiles ont été néanmoins tentés, et pourront être poursuivis avec succès sur les points où l'absence de cours d'eau prive les scieries forestières de leur moteur le plus simple, le plus économique et le mieux adapté à leur destination.

Élagage.— De même que le secours de l'art est indispensable pour tirer des arbres fruitiers des produits applicables aux besoins de la consommation, de même les arbres forestiers doivent, quoiqu'à un moindre degré, être soumis à une direction spéciale. Si, dans les futaies régulières, la nature se charge de débarrasser elle-même les arbres des branches qui peuvent altérer la régularité du fût, il n'en est pas ainsi dans les taillis où les arbres de futaie, ne faisant plus partie d'un massif serré, tendent à se charger de branches latérales dont il y a lieu de les débarrasser partiellement, à l'aide d'un élagage raisonné. Aucune opération de culture forestière ne réclame peut-être plus de soin et de tact. Une nouvelle méthode d'élagage introduite et propagée, depuis quelques années, par deux grands propriétaires qui en ont présenté les résultats aux visiteurs de l'Exposition de 1867, paraît réaliser un progrès notable tant dans le traitement des arbres que dans les procédés pratiques de l'amputation des branches.

Écorçage.—L'importance croissante du commerce de la tannerie est de nature à appeler toute l'attention des producteurs d'écorces à tan. D'après les procédés usités, l'écorçage n'a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lieu qu'à l'époque de la séve, ce qui entraîne des inconvénients de plus d'un genre. D'après un système nouveau, dont la base est la décortication, sous l'influence de la vapeur d'eau, l'écorçage pourrait être pratiqué en toute saison. Il a été constaté, par des expériences concluantes, que l'écorce ainsi obtenue possède des qualités au moins égales, au point de vue de la tannerie, à celles de l'écorce détachée en temps de séve. Il y a dans ce système un progrès digne d'être mentionné.

Résines. — L'exploitation de la résine donne lieu, dans plusieurs pays, à des transactions considérables. Cette exploitation ne paraît nulle part soumise à des procédés plus complets que le procédé Hughes, généralement adopté en France, et qui a été, il y a deux ans à peine, l'objet d'un perfectionnement de quelque intérêt.

Reboisements et regazonnements. — L'utilité des forêts ne consiste pas seulement à pourvoir aux besoins de la consommation. Elles exercent une influence notable sur les phénomènes météorologiques et sur le régime des eaux. Les belles observations de plusieurs savants, et notamment de MM. Becquerel, ne laissent aucun doute sur le pouvoir équilibrant des forêts, en ce qui concerne la répartition de la pluie et les éléments climatériques, ainsi que sur la protection dont elles couvrent la zone qui les environne contre les effets des orages à grêle.

Quant à l'action protectrice des bois contre l'irruption des eaux torrentielles, elle est écrite, avec tous les caractères de l'évidence, sur les flancs de la plupart de nos montagnes. Partout où les forêts ont été détruites, sévit le fléau des torrents. Partout où elles ont été conservées où rétablies, les vallées sont abritées contre l'invasion des eaux. C'est en vain qu'on a souvent tenté de combattre les torrents à l'aide de travaux d'art. Les replis de nos montagnes sont pleins de débris de digues, élevées à grands frais, pour contenir les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

torrents, et qu'une seule crue souvent a renversées. Ce n'est qu'en employant les forces modératrices de la végétation, et en opposant, en quelque sorte, la nature à elle-même, qu'on peut espérer combattre, avec efficacité, les forces destructives des eaux torrentielles.

C'est dans cet esprit que l'administration française a entrepris, en 1860, de reboiser et de regazonner les montagnes de notre pays. Le reboisement s'étend déjà sur 60,000 hectares environ. Est-ce à dire que l'œuvre terminée, nos vallées n'auront plus à redouter le fléau des inondations? Non sans doute. Les grandes inondations se rattachent à des causes que la main de l'homme est impuissante à supprimer. Quand bien même toutes nos montagnes seraient couvertes de bois et d'herbes, il n'en existerait pas moins, au-dessus de la limite de la végétation, une zone immense, au sein de laquelle certains phénomènes météorologiques peuvent déterminer une fonte brusque de neige et, par suite, précipiter, sur les parties inférieures, une masse d'eau qu'aucun obstacle ne saurait ni modérer, ni arrêter. Une pluie diluvienne tombant, pendant un temps très-court, sur un point déterminé, peut aussi provoquer, vers les parties inférieures, une irruption que rien ne peut retenir.

Mais en dehors de ces grands accidents, heureusement rares, et qu'il faut bien se résigner à subir, les travaux de reboisement sont destinés à créer un grand nombre d'abris protecteurs, qui assureront la sécurité de villages, de routes et de terrains en culture, dont la conservation est aujourd'hui très-précaire.

On ne peut que souhaiter vivement que les efforts de l'administration française soient appréciés et imités par les autres pays.

§ 2. — Pays étrangers.

Si l'on jette un rapide coup d'œil sur la situation forestière des diverses nations, on trouve, en première ligne, sous le rapport de l'état d'avancement des procédés de l'exploitation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des forêts ; l'Allemagne et la France. En comparant avec attention la marche suivie par chacune de ces deux nations dans la voie du progrès, peut-être trouverait-on les forestiers allemands plus attachés à la perfection des détails de la culture, et les forestiers français plus préoccupés des combinaisons d'ensemble qui président à la science des aménagements.

L'Angleterre métropolitaine a conservé peu de forêts, mais elle en possède d'immenses dans ses colonies. Les forêts du Canada notamment lui fournissent une partie considérable des bois qu'elle consomme chaque année, et dont la valeur totale n'est pas évaluée à moins de 300 millions de francs. L'Inde offre moins de ressources, surtout parce que les forêts étendues de cette contrée sont mal traitées et imparfaitement gérées. L'Angleterre, qui ne néglige rien pour développer ses richesses, a entrepris récemment de remédier à cet état de choses, et de former des forestiers capables de tirer des forêts de l'Inde le meilleur parti possible. C'est à la France qu'elle a demandé l'instruction de ses forestiers. Dès cette année, cinq jeunes Anglais ont été envoyés à l'École forestière de Nancy, pour y acquérir, auprès des savants professeurs de cet établissement, les notions de la science sylvicole.

C'est aussi à la France que la Russie emprunte ces notions. Tous les ans, plusieurs officiers forestiers de ce pays viennent étudier notre régime forestier, et puiser dans les détails de notre gestion ce qui peut être applicable aux immenses forêts que la Russie possède tant en Europe qu'en Asie, et dont l'étendue, dit-on, n'est pas inférieure à 150 ou 200 millions d'hectares.

A l'exemple de l'Angleterre et de la Russie, l'Empire ottoman, désirant ne pas laisser stériles ses richesses forestières, a cru ne pouvoir mieux faire que de réclamer de la France des indications à ce sujet. Seulement, au lieu de nous envoyer ses agents, elle nous demande les nôtres. Un conservateur des forêts de France explore depuis plusieurs années les forêts de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la Turquie d'Europe et de la Turquie d'Asie. Quatre nouveaux agents également Français lui ont été adjoints, il y a un an environ, pour l'assister dans sa mission, et il n'est pas douteux qu'en suivant leurs conseils, le gouvernement ottoman ne parvienne à tirer un excellent parti des belles forêts que le pays possède, notamment en Bosnie et en Caramanie.

C'est toujours de Suède et de Norwége que la France tire la plupart des bois de construction qu'elle importe. Ce n'est pas seulement à destination de France, mais de tous côtés, que ces contrées expédient chaque année d'énormes quantités de bois. Aussi quelques craintes s'élèvent au sujet de la durée de ces richesses, dans lesquelles on puise si abondamment, sans se préoccuper suffisamment, peut-être, d'en assurer la régénération.

Il résulte de ce rapide exposé et des faits de l'Exposition universelle de 1867, que le matériel et les procédés des exploitations forestières sont généralement en voie de progrès, et que la France n'est, à cet égard, en arrière d'aucune nation.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IV

MATIÈRES FERTILISANTES D'ORIGINE ORGANIQUE OU MINÉRALE

PAR M. LE BARON JUSTUS DE LIEBIG.

(Traduit de l'allemand par M. MICHEL REMPP.)

CHAPITRE I.

THÉORIE GÉNÉRALE.

Les considérations qu'on va lire pourront permettre d'apprécier l'importance et la valeur relatives des différents engrais employés en agriculture. Dans tous les pays où l'agriculture remonte à des siècles, elle se fonde sur l'emploi du fumier. L'idée du fumier implique bien toujours celle d'engrais, mais tout engrais n'est pas du fumier. Toutes les exploitations agricoles en Europe s'appuient si généralement sur le fumier d'étable, que, sans l'emploi de ce fumier, on semble ne pas concevoir la possibilité d'un rendement convenablement rémunérateur.

§ 1. — Système rationnel de culture.

Il existe, en culture, une méthode rationnelle et une autre qui ne l'est pas. Par la première, il faut entendre une culture fondée sur les principes de la raison et de l'expérience, garan-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tissant une productivité indéfinie des champs, et de nature à l'augmenter encore selon les circonstances. L'autre méthode est, au contraire, un mode d'exploitation épuisant et périlleux, parce qu'il use la faculté reproductive des champs, dont il réduit constamment le rendement. La pire exploitation est donc, bien entendu, celle qui conduit le plus promptement à l'épuisement des terres par l'effet de l'exploitation même. Nous éclaircirons tout à l'heure, par quelques exemples à la portée de tous, de ceux-mêmes qui manquent de connaissances agronomiques, ce que nous venons de dire de ces modes d'exploitation.

Les analyses les plus minutieuses et les plus exactes du sol arable ont prouvé que, dans la plus grande partie des terres cultivables en Europe, certaines substances, que le sol doit nécessairement contenir pour produire des céréales et autres récoltes, ne s'y rencontrent qu'en proportions très-minimes, et que l'homme le plus doué de pénétration et d'art n'est pas capable, en l'absence de ces éléments, d'obtenir des terres un rendement élevé. Tels sont les faits d'après lesquels on peut apprécier les différents modes d'exploitation agricole.

Si nous supposons une petite propriété rurale qui produise en céréales, en viande, en lait, etc., les quantités nécessaires à la nourriture d'une famille de cinq personnes, et que toutes les céréales récoltées y soient consommées comme pain, toutes les pommes de terre, tous les pois et autres produits du même genre comme légumes; que le trèfle, le foin, etc., employés pour l'entretien d'une vache ou d'une chèvre, soient consommés par la famille sous forme de viande et de lait, tout ce que les champs ont livré en produits ci-dessus reste sur le fonds de terre comme produits excrémentiels, liquides et solides, des animaux et des hommes, ou comme paille, déchets et débris de cuisine. Ces résidus composent le fumier et le purin.

Les éléments qui servent à la production des plantes s'appellent principes *nutritifs* quand ils font partie du sol, et *en-*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grais quand ils sont apportés par le fumier d'étable et le purin. Principes nutritifs et engrais sont donc une même chose, et l'on doit comprendre que l'on puisse facilement retrouver, par le fumier d'étable et le purin, pour les rendre à la terre, toute la somme des principes nutritifs qui ont passé dans les plantes et qui lui ont été enlevés sous forme de récoltes. Il est clair que, lorsque cette restitution a lieu, soit chaque année, soit de trois en trois ou de quatre en quatre ans, c'est-à-dire lorsque chaque champ a reçu par la *fumure*, comme on appelle cette opération, sa part sous forme de fumier et de purin, des principes nutritifs qu'il avait donnés, il devra se retrouver dans le même état qu'avant d'avoir fourni la récolte; et, dans les mêmes conditions extérieures de chaleur et de pluie, il produira de nouveau la même récolte en céréales, pommes de terre, pois, trèfle, foin, etc., telle qu'il l'avait produite l'année précédente.

Voilà la méthode de culture rationnelle par laquelle les champs conserveront toujours leur fertilité et suffiront à nourrir cette même famille de cinq personnes, car les mêmes causes doivent toujours produire les mêmes effets. Lorsque le cultivateur ne recueille pas avec soin son fumier, lorsqu'il le vend ou qu'il laisse son purin se perdre dans les rues du village, au lieu de le répandre sur ses champs, sa culture cesse d'être rationnelle, et les produits de son exploitation manqueront à un moment donné en tout ou en partie.

Pour l'exploitation du fonds de terre dont nous venons de parler, toutes les forces productives de cette famille de cinq personnes ne sont pas entièrement indispensables, et si nous admettons que la moitié suffise, elle tirera partie de l'autre moitié en travail de louage ; elle pourra alors retirer un revenu suffisant pour couvrir et ses frais et ses besoins en vêtements, logement, chauffage, ustensiles et médicaments.

Les conditions sont différentes quand une famille de cinq personnes cultive une plus grande étendue de terre, le double, par exemple, de celle dont nous venons de parler. Dans ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cas, il faudra qu'elle consacre à l'exploitation la somme entière de ses forces productives ; mais alors elle recueillera une quantité double de ce qui lui est nécessaire pour sa nourriture, ce qui lui permettra d'en vendre la moitié pour subvenir à ses autres besoins que nous venons d'indiquer, c'est-à-dire les vêtements, les ustensiles, etc. Dans ce cas, la moitié du produit des champs en céréales, lait, viande, que cette famille porte au marché, contient une partie équivalente des principes nutritifs qui ont servi à la terre pour les produire, et par conséquent la somme de ces principes qui sont l'origine de la croissance des plantes ne sera pas rendue à la terre ; or, il est évident que, dans le premier exemple, tous les éléments sont convertis en fumier et rendus au sol, tandis que dans le second, au contraire, les terres ne recouvrent que la moitié de ce qu'elles ont livré.

§ 2. — Exploitation épuisante.

La quantité de fumier qui peut être recueillie sur le second fonds de terre n'est pas plus grande que celle fournie par le premier fonds ; elle aurait dû être le double si tous les champs du second fonds avaient reçu autant d'engrais que ceux du premier et donné le même rendement. L'exploitation continuant ainsi, la perte des principes nécessaires à la fertilité du sol devient plus grande d'année en année ; en d'autres termes, la fertilité diminue. Quelque grande donc qu'ait été au commencement la somme des principes nutritifs déposés dans le sol, il est hors de doute que, pour un fonds de terre exploité de cette façon, le jour viendra où il ne payera plus le travail, en d'autres termes, ne nourrira plus l'homme qui le cultive. Cela est le second mode de culture ; il aboutit à l'épuisement du sol et se nomme *exploitation épuisante* (raub betrieb), qui est évidemment le contraire d'une exploitation rationnelle puisqu'elle amoindrit chaque année la fertilité et la valeur des champs. Tel est le résultat inévitable de cette culture ; l'éten-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

duc des terres, la diversité de leur richesse en principes nutritifs peuvent seulement faire varier l'époque où il doit s'accomplir.

La méthode d'épuisement peut devenir, bien entendu, une méthode rationnelle si le cultivateur se procure, en remplacement de ses denrées vendues, des engrais propres à rendre à ses terres ce qu'elles ont perdu, et en quantité suffisante pour leur faire recouvrer leur fertilité première.

On peut bien comprendre que, par suite d'un bon choix de plantes, variées successivement de façon à convenir parfaitement au sol, il soit possible d'obtenir de certaines terres un plus grand rendement ; que des champs mal cultivés puissent, par une culture plus soignée, donner de meilleures récoltes; on comprend aussi que le drainage soit apte à améliorer le sol, c'est-à-dire à le rendre plus fertile; mais toutes ces améliorations, qui témoignent, il est vrai, de l'art et du talent du cultivateur, ne sont pas cependant des preuves d'une culture rationnelle, puisque la somme des conditions qui constituent la fécondité du sol n'est pas augmentée, non plus que la certitude de belles récoltes. On se borne ainsi à rendre plus actives certaines fractions de la somme totale des principes nutritifs que contient le sol. Le véritable caractère d'une culture intelligente, c'est un rendement qui soit chaque année reproduit dans des proportions semblables. L'habileté seule du cultivateur ne suffit donc pas pour maintenir à la longue la fertilité d'un sol auquel on enlève chaque année une partie de ses principes nutritifs sans jamais la lui rendre.

Il y a certaines terres tellement riches en principes nutritifs, que leur effet ne se produit pas sous l'action de certaines circonstances climatériques. On comprend donc que de telles terres, pour donner le même rendement pendant un certain nombre d'années, n'exigent pas la restitution des substances que les récoltes leur ont enlevées, car, par cette restitution, les principes nutritifs restants, déjà trop abondants par eux-mêmes pour pouvoir avoir leur plein effet, le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deviendraient plus encore. Les plantes recevraient, par ce fait, un excédant que le sol ne comporterait pas et qui serait nuisible à leur croissance. Pour obtenir de bons résultats sur de telles terres, l'intelligence du cultivateur lui sert mieux que l'engrais, en ce sens du moins qu'il peut discerner les moyens rationnels aptes à corriger la composition physique du sol, et qui sont propres à en éloigner tout ce qui pourrait empêcher l'éclosion et la floraison des plantes. Le simple drainage suffit quelquefois pour qu'une terre de cette nature arrive à un haut degré de fertilité. En revanche, il faut qu'un engrais bien choisi soit appliqué, en rigoureuse compensation, là où les plus hauts rendements ont été obtenus artificiellement, parce que dans cette circonstance le problème consiste à obtenir continuellement le maximum des rendements. Mais comme l'élévation ou l'abaissement du produit des récoltes s'opère d'une manière fort lente, et qu'il manque un signe caractéristique indiquant que le maximum a été obtenu, c'est-à-dire que le moment est venu de compenser ce que le sol a perdu, la raison impose au cultivateur l'obligation d'avoir à sa disposition une quantité suffisante d'engrais pour les champs qui lui ont donné la plus longue suite de brillantes récoltes; ce n'est que par cette prévoyance qu'il sera sûr de voir les rendements non-seulement se maintenir à la même hauteur, mais encore augmenter très-probablement.

D'après ce qui précède, il est aisé de comprendre que les grands rendements d'un champ ne sont pas la preuve d'une culture rationnelle; pour qu'une culture mérite d'être appelée ainsi, il faut autre chose, c'est-à-dire des faits appuyés sur la raison, et donnant la conviction complète que les grands rendements, n'ayant pas été obtenus aux dépens de la richesse du sol, resteront indéfiniment les mêmes. On peut conclure de même que les faibles rendements d'une terre ne témoignent d'une mauvaise culture que lorsqu'il est prouvé par des arguments rationnels qu'ils sont véritablement le résultat logique de cette mauvaise culture.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A égale culture, un champ pauvre ne donnera jamais d'aussi belles moissons qu'un champ riche; l'exploitant d'un champ pauvre peut néanmoins être un agriculteur rationnel, alors même que ses moissons sont bien moindres que celles d'un champ riche, mais mal cultivé.

Il est évident, d'ailleurs, que lorsqu'un cultivateur envoie du blé et du bétail au marché de la ville, ce n'est pas une preuve qu'il soit bon agronome ou un homme riche; il en résulte non pas que ses terres soient fertiles, mais tout au plus qu'il n'est pas un simple manœuvre; que son domaine produit plus de fruits qu'il n'en faut pour sa consommation et celle de sa famille, et qu'il a des besoins qu'il ne peut satisfaire qu'en achetant des objets qui lui sont nécessaires. S'il ne pouvait donc payer ces objets avec l'argent rapporté par la vente de ses fruits, il serait obligé de renoncer à sa culture.

Tout ce qui vient d'être dit s'applique à toute espèce de terres, dans n'importe quel pays, même à celui qui exporte du blé et du bétail, car cette exportation n'est pas une preuve qu'il soit riche et fertile; elle démontre seulement que la population n'est pas proportionnellement aussi forte que sa production, et qu'il a besoin de tirer d'autres contrées certaines marchandises qui lui manquent, en raison de son climat, de la faiblesse de son industrie, ou d'autres diverses causes.

CHAPITRE II.

LES ENGRAIS.

§ 1. — Importance et rôle des engrais.

Les objets qu'une nation est impuissante à produire, il faut qu'elle les achète ailleurs; si le pays ne peut, en échange,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exporter ni blé, ni bétail, etc., il lui faut renoncer à avoir du sucre, du café, du fer, du cuivre et autres marchandises. Si l'étranger cesse d'acheter du blé et du bétail, par suite d'améliorations dans son exploitation agricole, ou si la population intérieure augmente, ce qui accroîtra la consommation et diminuera l'exportation, le pays subira cette situation contre son gré; aussi faudra-t-il, pour rétablir l'importation des produits étrangers, coloniaux ou manufacturiers, dont la population manufacturière a besoin, apprendre et appliquer les moyens propres à augmenter proportionnellement les productions de blé et de bétail.

Dans un pays qui ne produit qu'une légère surabondance de blé et de bétail, et qui ne possède pas une industrie largement développée, le rapport de l'exportation ne saurait être conservé que dans le cas où la population cesserait d'augmenter et ne dépasserait pas certaines limites. De tout cela, il faut conclure que la marque distinctive d'une bonne ou d'une mauvaise culture, d'une culture rationnelle ou irrationnelle, se découvre dans ce fait : que la majorité des cultivateurs d'un pays est tenue de connaître la loi générale qui préside à la compensation des engrais, et qu'elle doit cultiver ses terres en conséquence, c'est-à-dire qu'elle a besoin de se rendre un compte exact de la quantité des principes nutritifs enlevés à la terre par les produits portés au marché, et de ce qu'elle doit lui rendre obligatoirement sous forme d'engrais. Pour remplir cette prescription, il faut vouloir, mais pour vouloir, il faut connaître; malheureusement, en agriculture, les connaissances agricoles ne viennent que lentement, puisqu'il faut de bien longues années pour les acquérir.

Dans les contrées où les prairies sont constamment irriguées par des cours d'eau chargés de limon, le fumier qu'on obtient, après avoir alimenté les bestiaux, du foin qu'on y récolte, est un des engrais les plus puissants pour la fécondité des terres; mais on n'a qu'à jeter un coup d'œil sur une carte géographique pour reconnaître aussitôt que, quelque grand que puisse

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

être pour quelques cultivateurs le profit retiré des prairies, ce profit ne saurait être mis en ligne de compte pour tout un pays. Ce n'est pas toute espèce d'eau qui est propre à l'irrigation des prairies.

Dans un pays parsemé de petites villes, où la propriété foncière est très-morcelée, où la population agricole, très-serrée, n'exporte ni blé ni bétail, et où le citadin s'occupe de la culture des champs ou de l'horticulture, l'équilibre des produits de la terre se maintient pendant très-longtemps. Ce que l'habitant de la campagne porte aux petites villes sous forme de blé et de bétail retourne, en grande partie, aux jardins et aux champs des habitants, sous forme d'engrais ; l'éloignement entre les villes et villages étant peu considérable, le cultivateur peut acheter du citadin qui ne possède ni champs ni jardins, en échange de légumes et de pommes de terre, l'engrais qui lui manque, afin de pouvoir augmenter la fertilité de ses champs. Ce que les terres du pays perdent en totalité, on le regagne aux alentours de la ville, de sorte que, par suite de l'accroissement de la population, il ne se produit qu'une légère non-valeur, qu'il est aisé de couvrir par la vente des produits servant à la transaction, comme le tabac et le vin, et par l'achat de blés et d'engrais venant du dehors.

Mais les rapports sont tout autres dans un pays où il existe des grandes villes et où la population agricole apporte de loin du blé et de la viande, ou encore dans un pays qui exporte du blé et du bétail.

Il y a des pays où, dans les grandes villes, toutes les matières accumulées propres à faire de l'engrais sont ramassées sans perte et données aux champs des cultivateurs ; là, la rotation naturelle existe réellement et la fertilité est permanente. C'est, par exemple, le cas dans la Chine et au Japon, pays où l'agriculture est plus vieille que notre histoire, et où la fertilité des champs n'a pas diminué. L'expérience de l'Amérique du Nord prouve de même qu'une terre à laquelle on enlève constamment, sous forme de blé et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de produits divers, sans les lui rendre sous formes d'engrais, les principes nutritifs du sol, est sujette à perdre complétement, dans un temps donné, toute sa fertilité.

Dans la plupart des grandes villes des pays agricoles de l'Europe, on a pris, depuis des siècles, des dispositions de nature à faire sortir des villes les excréments des hommes et des animaux, comme matières nuisibles à la santé ; mais on le fait d'une manière qui rend impossible de les recueillir et de les utiliser pour les besoins de l'exploitation agricole. Les essais que l'on a tentés dans différentes villes du continent pour réunir, sous une forme transportable à de grandes distances, les immondices des égouts et des fosses d'aisances n'ont jusqu'ici pas réussi, à cause des dépenses de l'opération. Quelque minimes que soient les frais, le prix du produit est toujours trop élevé pour que le produit de l'agriculteur puisse couvrir, dans la plupart des cas, les dépenses qu'il a faites, ou du moins ces dépenses ne sont pas en rapport avec le profit. La poudrette de Montfaucon, recueillie dans les immondices des latrines et séchée à l'air, contient, outre une certaine quantité d'eau, 28 pour 100 de sable ; la poudrette de Dresde, depuis 43 jusqu'à 56 pour 100 ; celle de Francfort-sur-le-Mein, 50 pour 100. Cette substance, qu'il faut transporter et qui contient dans un quintal une quantité relativement petite de principes fécondants, est pour ainsi dire sans valeur quelconque pour l'agriculteur.

Dans le voisinage le plus rapproché des villes, les immondices des fosses sont employés avec un grand succès, comme on le sait, par les horticulteurs et les agriculteurs. A Londres et dans plusieurs autres villes de la Grande-Bretagne, on a commencé à employer avantageusement sur les champs, et notamment sur les prairies, les liquides des égouts. On retirera toujours de grands avantages de ces sortes de procédés partout où il sera possible de les employer. Mais, ainsi que j'en ai fait l'observation, la préparation artificielle des éléments actifs provenant des liquides des égouts en augmente le prix

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de revient à un point tel que leur débit devient impossible.

Il est, par conséquent, plus rationnel et plus simple de tirer d'autres sources moins coûteuses les matières qui donnent au contenu des immondices des fosses et aux liquides des égouts une valeur agricole. J'ai dit plus haut que la culture au fumier d'étable, sur un domaine d'où l'on exporte du grain et du bétail, fait perdre, après un certain temps, leur fertilité et leur valeur aux terres, parce que le cultivateur qui se sert uniquement du fumier d'étable porte chaque année, sous forme de produits ruraux, hors de son exploitation, et sans les remplacer, certains éléments qui constituent la puissance productive et la valeur de ses champs. Chaque année, il vend sous forme de produits la représentation d'une partie de son terrain, et, en continuant ainsi, il est clair que, quelque petite que la perte ait été primitivement, le moment ne manquera pas d'arriver où ses champs ne le nourriront plus. Cette dépréciation des terres, conséquence immédiate de l'exploitation exclusive par le fumier d'étable, a été démontrée par l'expérience dans ces derniers temps, à l'occasion de l'exploitation du domaine de Hohenheim, dans le Wurtemberg, siége d'une école agricole d'une grande renommée.

L'histoire de l'exploitation de Hohenheim, sur laquelle je ne puis pas m'étendre ici, est très-remarquable. Les directeurs placés à la tête de l'exploitation étaient, jusqu'en 1864, ce qu'on appelait des hommes pratiques, c'est-à-dire que l'exploitation avait été confiée à des agriculteurs sachant exploiter les terres avec profit, en entendant par profit la rente ou l'argent rapporté par la terre, sans avoir égard à l'état dans lequel on la mettait par cette exploitation prétendue lucrative. Un des traits distinctifs de ces hommes pratiques était de mépriser les doctrines de la science; je veux dire qu'ils considéraient comme superflu d'étudier, dans l'application rationnelle de l'agriculture, les principes nutritifs des plantes, ainsi que les sources d'où ils découlent. Ils ne croyaient pas nécessaire de savoir pourquoi on est forcé de fumer les terres et ce

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en quoi consiste l'engrais. Les succès momentanés qu'ont de tels hommes sont souvent très-grands, et provoquent par moments l'admiration de tous les praticiens de même force, qui imitent ou adoptent ardemment leur méthode ; mais au bout de quelques années leur gloire s'éteint, on ne parle plus des riches moissons qu'ils avaient autrefois obtenues, et l'on se tait sur ce que sont devenus ces champs fertiles, qui donnaient de si beaux revenus. A Hohenheim, on avait établi une comptabilité exacte des récoltes, et les rendements successifs obtenus donnent une image non équivoque de l'état dans lequel se trouvent les terres. D'après les règles qu'on appliquait à l'exploitation de ce domaine, il aurait fallu que les conditions de la fertilité se trouvassent constamment dans le sol, qui serait inépuisable. D'après ces principes, le succès dépendrait uniquement de l'art et de l'habilité de l'homme, et, par conséquent, il serait inutile d'employer des engrais tirés du dehors.

Les directeurs de Hohenheim furent fiers d'abord de tirer du terroir des rentes considérables, sans avoir besoin de leur donner une compensation en engrais extérieurs; mais, en peu de temps, il devint visible, et d'une manière effrayante, que leur art tant prisé avait perdu toute sa puissance sur les champs. Aussi longtemps que le sol avait été riche, il s'était montré reconnaissant des soins qu'on lui donnait; mais dès qu'il devint pauvre, aucune adresse n'y fit plus rien. Les directeurs imaginèrent alors que c'était la nature qui avait changé, et que le climat et le temps, autrefois si favorables, étaient devenus sans raison hostiles à leurs efforts. Cependant, et comme ils étaient d'avis que le fumier d'étable produisait les récoltes du terroir et qu'il ne manquait que cet ingrédient pour obtenir de plus grands rendements, ils cherchèrent à remédier au mal en produisant une plus grande quantité de fumier d'étable, ce qui leur réussit, en effet.

Dans les années de 1832 à 1841, on employa à Hohenheim comme engrais un cinquième de fumier d'étable de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moins, et on obtint néanmoins sur la même quantité de terres 20 pour 100 en grains de plus que pendant les années de 1854 à 1860. Cette diminution se comprend très-bien ; car, par la vente des céréales, les terres de Hohenheim perdirent, de 1821 jusqu'à 1860, 49,000 kilogrammes d'acide phosphorique qui n'étaient pas remplacés. L'absence d'un des éléments les plus essentiels de la production du blé se faisait naturellement sentir par la diminution des moissons. Pour maintenir d'une manière durable les récoltes au même niveau, il aurait fallu donner aux terres de Hohenheim 180,000 kilogrammes de poudre d'os. L'exploitation de Hohenheim, qui, pendant de longues années, passa pour être un modèle, et, comme telle, était recommandée à l'imitation, a prouvé bien évidemment que, lorsque des principes nutritifs sont enlevés aux champs sous la forme de produits qu'on y recueille, si l'on n'accorde pas au sol une compensation, la meilleure terre perd peu à peu sa fertilité. Il est clair que ce qui est vrai pour un fonds de terre doit nécessairement être vrai pour l'ensemble des propriétés du pays exploitées dans le même système.

Dans la plupart des pays européens, l'usage est d'exploiter au moyen du fumier d'étable, c'est-à-dire au moyen du fumier produit sur place, sans achat supplémentaire d'engrais. Il n'y a donc point de doute que, si on ne remédie au vice de cette méthode, les terres doivent s'appauvrir. Cette diminution de la fertilité s'opère d'une manière assez lente pour qu'elle échappe à peu près à l'observateur ordinaire. Beaucoup de cultivateurs, dont l'exploitation est fondée sur la culture des plantes fourragères et la rotation des cultures, nient souvent d'une manière absolue que cette diminution soit réelle.

L'augmentation des rendements est, en effet, souvent très-grande pendant la première période de l'exploitation, mais ce n'est pas une preuve, ainsi que je l'ai démontré ailleurs, que les champs aient gagné en principes actifs. Ce mode d'exploitation prouve seulement que les principes nutritifs, plus pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fondément enfouis dans le sol, ne pouvaient pas atteindre les racines des céréales et agir sur elles, mais étaient atteints par les racines bien plus longues des plantes fourragères et se trouvaient ainsi utilisés. Ces plantes fourragères servant à la nourriture des animaux, les principes nutritifs qu'elles contiennent sont, sous forme de fumier, rapportés sur les champs et fournissent à ceux-ci les conditions indispensables à la production des céréales. Mais comme le sous-sol est pour les plantes fourragères exactement ce que sont les couches supérieures pour les céréales, il perd peu à peu le pouvoir de les nourrir, et les champs deviennent impropres à la production de ces plantes. On dit alors que les champs sont épuisés par la production du trèfle. Dès que ce moment arrive, c'est-à-dire dès que le sous-sol est épuisé, il est naturel que la même culture n'y puisse plus prospérer.

D'autres ont cherché à prouver par des démonstrations statistiques que le rendement des champs et des domaines n'a pas diminué. Il peut en être ainsi pour beaucoup de cas, mais ce n'est pas encore une preuve que ces champs ne soient pas devenus plus pauvres. Cela prouve tout simplement qu'on y a mis plus d'art, d'adresse et de travail pour obtenir des récoltes aussi considérables que celles qu'on avait dans le passé, alors qu'on dépensait moins d'art et de soins. Quant à ce qui concerne l'équilibre ou la non-diminution de la production des céréales sur certains domaines, il en est comme du domaine de Hohenheim, où, nonobstant la diminution des rendements de quelques champs particuliers pendant les années 1854-1860, on avait produit en totalité plus de blé que pendant les années 1832-1841. La raison en était que, pour pouvoir vendre autant de blé qu'autrefois, on avait fini par augmenter d'un cinquième les champs destinés à la production du blé.

Le premier signe de la diminution de la fertilité est que le poids des grains diminue; en Allemagne, les vieux cultivateurs se rappellent que dans leur jeunesse les grains du blé, de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'orge et des autres céréales avaient plus de pesanteur. Ce sont là des faits excessivement simples pour la science qui les exprime par des chiffres ; si donc elle signale les dangers qui menacent les pays où l'agriculture repose sur l'épuisement des champs, elle n'a fait que remplir son devoir et elle accepte volontiers le reproche qu'on lui adresse très-souvent d'avoir exagéré ces dangers ; mais aucun homme sensé n'osera prétendre que le péril n'existe pas, uniquement parce qu'on n'en éprouve pas les effets, et parce qu'il n'est pas encore près de nous.

§ 2. — Rôle des divers genres d'engrais.

Si l'on demande maintenant quelles matières ont été enlevées aux terres par le blé et le bétail qui ont été vendus, il est aisé de comprendre que la matière la plus importante de toutes est celle que le sol contient relativement en plus petite quantité que les autres une fois la moisson faite. Les différents principes nutritifs livrés par le sol sont les parties incombustibles des plantes que nous obtenons en traitant leurs cendres, savoir : l'acide phosphorique, l'acide sulfurique, l'acide silicique, la potasse, la chaux, la magnésie et le fer ; toutes les plantes fourragères contiennent, en outre, du chlorure de sodium. Quant à l'azote, les plantes le reçoivent en partie de l'atmosphère et en partie du sol, sous forme d'acide nitrique et d'ammoniaque. Tous ces principes ont pour les plantes la même valeur ; s'il en manque un seul dans le sol, l'acide phosphorique, par exemple, l'effet de tous les autres est neutralisé. Aucun d'eux ne peut se remplacer par un autre. Les récoltes sont proportionnelles aux principes nutritifs que le sol contient en minimum. Ces principes sont semblables aux anneaux d'une chaîne dont la force dépend des plus faibles. Si un champ est pauvre d'un seul principe, de l'azote, par exemple, et qu'on en augmente la quantité, la récolte s'accroîtra et, en même temps, les autres principes révéleront une action qui était latente auparavant. Si, dans certains champs,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

il manque deux principes nutritifs, l'azote et l'acide phosphorique, par exemple, on les fumera vainement avec des engrais riches en azote seulement, l'azote paraîtra ne pas exercer son effet ; il faut absolument fournir les deux principes au sol, mais alors l'effet est immanquable.

Il vient d'être dit que le cultivateur devait surtout fumer ses terres avec les substances représentant les principes qu'elles contiennent en moindre quantité ; pour les plantes, tous les principes qui concourent à leur développement ont la même valeur ; mais il n'en est pas de même pour le cultivateur. La chaux, par exemple, constitue un des plus puissants principes nutritifs et par conséquent un des meilleurs engrais; mais, dans un terrain calcaire, la quantité existante de chaux est tellement considérable, relativement à la quantité des plantes produites, qu'il est inutile de la fournir ou de la remplacer. Il n'en est pas de même pour un terrain argileux ou sablonneux. Dans ces sortes de terres, la chaux est indispensable pour faire pousser certaines plantes, des trèfles, par exemple, qui, sans cela, n'y viendraient pas. On peut dire la même chose de la magnésie. Les choses se passent différemment avec l'acide phosphorique. Il existe généralement en très-petite quantité dans le sol, et il forme une partie intégrante de toutes les plantes, graines, racines et tubercules sans distinction ; les substances où il se trouve en plus grande quantité sont les céréales et les légumineuses, ainsi que le sang, la viande et les os des animaux élevés dans les champs.

Le cultivateur qui exporte des récoltes de son exploitation doit donc toujours être attentif à restituer au sol les principes nutritifs qu'elles contiennent. L'azote, par suite de l'extension prise par les cultures fourragères étant rendu, en partie, au sol par l'atmosphère, et, d'autre part, un grand nombre de terrains étant pourvus de potasse, le remplacement de ces deux principes n'est indiqué que dans certains cas spéciaux ; mais un cultivateur qui suit une méthode rationnelle doit toujours racheter ce qui manque en acide phosphorique.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La fumure avec des doses exactes d'acide phosphorique est par conséquent le signe auquel on reconnaît le cultivateur qui suit une méthode rationnelle (1). Si donc, de deux surfaces égales de terre arable, l'une reçoit plus de phosphate que l'autre, c'est un signe que la première est cultivée d'une manière plus rationnelle que la seconde

Les os des animaux de boucherie sont riches en phosphate et ont acquis une valeur vénale depuis qu'on a constaté leur importance comme engrais, aussi ne s'en perd-il dans chaque pays qu'une petite proportion. Dans beaucoup de contrées les os qu'on y recueille ne suffisent pas aux besoins du cultivateur ; de là viennent les grandes commandes faites à l'étranger en phosphate, en guano et en autres substances analogues, riches en azote et en acide phosphorique. Il en est résulté que, dans beaucoup de pays, il s'est créé une nouvelle branche de commerce, celle des engrais, qui, de jour en jour, prend une extension colossale. Les nombreuses demandes de phosphates ont déterminé les marchands d'engrais à envoyer des géologues dans toutes les parties du monde, pour décou-

(1) Les moyennes ci-après, résultant de nombreuses analyses, indiquent assez exactement la contenance des divers produits ruraux en azote, en acide phosphorique et en potasse, et, par suite, les quantités par 100 kilogrammes que leur culture enlève au sol.

100 kilogrammes des produits ci-après, contiennent :

	En azote.	En acide phosphorique.	En potasse.
Froment	20 kil. 8	8 kil. 2	5 kil. 6
Seigle	17 6	8 2	5 4
Orge	15 2	7 2	4 8
Avoine	19 2	5 5	4 2
Betterave	1 8	0 8	4
Foin	13 2	4 1	17 1
Bœuf vivant	2 4	18 6	1 7
Mouton, id.	2 0	12 3	1 3
Veau, id.	2 4	13 8	1
Cochon, id.	2 0	8 8	1

L'hectolitre pèse en moyenne :

Pour le froment	73 kilog.
Pour le seigle	70 id.
Pour l'orge	64 id.
Pour l'avoine	44 id.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vrir des gîtes de phosphates, et on en a rencontré en Espagne, au Canada, dans plusieurs îles de l'Atlantique, dans presque toutes les parties du monde, et en quantité très-considérable, sous forme de coprolithes.

Ces derniers sont souvent très-durs, plus que le grès, et ont besoin, par conséquent, d'une certaine préparation pour servir aux mêmes usages que les os. Ces derniers agissent déjà quand ils sont réduits en poudre fine; mais il est préférable de mélanger la poudre d'os avec un volume égal de sciure de bois ou de terre végétale et une certaine quantité de fumier, de vache ou de mouton, court (sans paille), de mettre le tout en tas et de l'arroser d'eau ou de purin; il s'y développe alors une fermentation qui dissout la gélatine existant dans la poudre d'os et qui rend plus soluble le phosphate de chaux qui en constitue l'élément principal. Pour produire les mêmes effets que la poudre d'os, les phosphates naturels doivent être dissous à l'aide d'acides, c'est-à-dire liquéfiés, pour pouvoir être absorbés par les plantes; à cet effet, on emploie généralement l'acide sulfurique, en quantité suffisante pour se combiner avec les deux tiers de la chaux contenue dans le phosphate naturel. Ces phosphates, préparés dans les fabriques de produits chimiques, sont connus dans le commerce sous la désignation d'*engrais artificiels* et prennent le nom de *superphosphates*. Dans les meilleures espèces, on retire ainsi 20 pour 100 d'acide phosphorique sous la forme phosphate soluble plus ou moins mélangé. Souvent on ne constate que 12 pour 100 d'acide phosphorique soluble.

Les engrais qui ne contiennent pas de phosphate sont naturellement sans valeur pour l'agriculture. Indépendamment de l'acide phosphorique, la restitution de l'azote est également d'une grande importance pour le sol. On peut admettre, il est vrai, que la quantité d'azote emportée dans les plantes et dans le bétail soit restituée aux champs sous forme d'ammoniaque par l'atmosphère et par les pluies, de sorte qu'en fait il n'y a pas de déperdition; mais l'ammoniaque (dans lequel se résout,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peu à peu, l'azote de toutes les substances azotées qui se trouvent dans le sol et qui y ont été apportées sous forme d'engrais), l'ammoniaque, disons-nous, dans un grand nombre de terrains, passe très-promptement à l'état d'acide nitrique qui, se combinant avec la chaux, forme un sel très-soluble, que la pluie fait pénétrer à une profondeur telle que ce sel ne peut plus être atteint par les racines des plantes. Des expériences faites à ce sujet ont constaté, en effet, que de l'eau pluviale, qui avait filtré pendant six mois à travers une couche de six pouces d'épaisseur dans une terre aux environs de Munich, ne contenait pas d'ammoniaque, mais une notable quantité de nitrate de chaux. (Voyez Liebig, *les Lois Naturelles de l'agriculture*, page 102.) Par cette conversion en acide nitrique, les meilleures terres perdent une quantité d'azote beaucoup plus grande que celle que leur retire la récolte, et il est très-nécessaire de la leur restituer.

La fumure avec les sels de potasse a acquis une importance particulière dans les contrées où s'est répandue la culture de la betterave pour la fabrication du sucre. Le jus de betterave est riche en sels de potasse qui, lors de la fabrication du sucre, se réunissent dans les mélasses. Dans beaucoup d'endroits on utilise ces mélasses pour la fabrication de la potasse au grand avantage du fabricant, mais au grand préjudice des terres ; il est arrivé que, par suite de la perte de cette substance pour le sol, le rendement en sucre des betteraves cultivées ensuite sur ces terres, avait extraordinairement diminué. Le fait a été constaté d'une manière irréfragable en Allemagne, et on y considère la fumure avec les sels de potasse comme une condition indispensable de la richesse saccharifère des champs plantés en betteraves ; grâce à ce mode de fumure, le jus arrive à contenir une plus grande quantité de sucre et le produit en betteraves augmente également.

Pour l'appréciation des prix des diverses sortes d'engrais qu'on trouve dans le commerce et dont la valeur est en raison de leur contenance en azote, en potasse et en acide phospho-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rique, il est nécessaire de prendre un point de départ certain dans le prix des éléments qui les composent. Admettons, par exemple, que 100 kilogrammes de sulfate de potasse de Stassfurt se vendent 32 francs. Ce sel contient de 40 à 42 pour 100 de potasse. Il s'en suivra que le prix d'un kilogramme de potasse est de 80 centimes.

Le phosphate de chaux, qu'on obtient comme produit accessoire dans la fabrication de la colle forte, coûtant, avec une teneur de 65 pour 100, 20 francs les 100 kilogrammes, revient à 30 centimes le kilogramme. 100 kilogrammes de Guano-Baker, contenant 78 pour 100 de phosphate de chaux, coûtent 23 fr. 40 cent. Ces deux espèces de phosphate de chaux se vendent plus cher dans le commerce que les espèces compactes et de nature pierreuse, qu'on ne parvient à dissoudre qu'en les traitant préalablement par l'acide sulfurique. Au prix où se cote le Guano-Baker, le phosphate de chaux revient également, dans le commerce, à 30 centimes le kilogramme. 78 kilogrammes de phosphate de chaux contenant 35 kilogrammes 8 hectogrammes d'acide phosphorique, le kilogramme d'acide phosphorique, sous forme de phosphate de chaux, revient ainsi à 65 centimes.

Le prix du superphosphate de chaux, qui contient 20 pour 100 d'acide phosphorique soluble, étant de 20 francs les 100 kilogrammes, le kilogramme d'acide phosphorique revient à 1 franc. L'engrais le plus riche en azote est le guano du Pérou ; après lui, la poudre d'os contient généralement de 3 1/2 à 4 pour 100 d'azote. On peut facilement déduire le prix de l'azote de celui du guano, de la poudre d'os et du sulfate d'ammoniaque du commerce. A l'état où ce dernier produit est mis dans le commerce, il contient 20 pour 100 d'azote. Les 100 kilogrammes coûtant 40 francs, le prix du kilogramme (d'azote) est de 2 francs.

Les prix courants du commerce fournissent par conséquent les données ci-après :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1	kilogramme	de potasse vaut.....	0f 80c
1	—	de phosphate de chaux.....	» 30
1	—	d'acide phosphorique (non soluble).....	» 65
1	—	— (soluble).....	1
1	—	d'azote.....	2

Un cultivateur qui suit une méthode rationnelle d'exploitation ne s'aventurera pas à dépenser de l'argent pour un engrais dont il ne connaît pas la composition ou la richesse en principes actifs, et, à l'occasion, il agira comme tout autre industriel, comme un fabricant de savon, par exemple, qui, lorsqu'il achète de la soude, la paye en raison de sa force alcaline. Quelques exemples suffiront pour faire comprendre au cultivateur la manière dont il doit juger les prix des engrais qui paraissent dans le commerce. S'agit-il, par exemple, de déterminer les prix d'espèces données de guano? Les analyses de deux espèces ont donné :

PAR 100 KILOGRAMMES.

	PREMIÈRE SORTE.			DEUXIÈME SORTE.	
Azote.....	12 kil.	à fr. 2.00	fr. 24.00	14 kil.	fr. 28.00
Acide phosphorique (soluble).....	3 kil.	à fr. 1.00	fr. 3.00	4 kil.	fr. 4.00
Acide phosphorique (insoluble).....	9 kil.	à fr. 0.65	fr. 5.85	10 kil.	fr. 6.50
Potasse.....	0 kil. 6	à fr. 0.80	fr. 0.48	0 kil. 6	fr. 0.48
Prix de 100 kilogrammes.....			fr. 33.33		fr. 38.98

La seconde sorte, en raison de ses éléments, peut donc être payée par le cultivateur 5 fr. 65 c. plus cher que la première.

PAR 100 KILOGRAMMES DE POUDRE D'OS.

	PREMIÈRE QUALITÉ.			DEUXIÈME QUALITÉ.	
Azote.....	4 kil.	à fr. 2.00	fr. 8.00	3 kil. 5	fr. 7.00
Phosphate de chaux....	64 kil.	à fr. 0.30	fr. 19.20	60 kil.	fr. 18.00
Prix de 100 kilogrammes.....			fr. 27.20		fr. 25.00

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	100 KILOG. FUMIER D'ÉTABLE.			100 KIL. EAU DE FUMIER	
Azote	0 kil. 3	à fr. 2.00	fr. 0.60	0 kil. 8	fr. 1.60
Acide phosphorique (insoluble)	0 kil. 21	à fr. 0.65	fr. 0.136	0 kil. 01	fr. 0.065
Potasse	0 kil. 60	à fr. 0.80	fr. 0.48	0 kil. 5	fr. 0.400
Prix de 100 kilogrammes			fr. 1.216		fr. 2.065

	100 KIL. CHAUX ANIMALISÉE DE MOSSELMAN.		
Azote	0 kil. 49	à fr. 2.00	fr. 0.98
Acide phosphorique (insoluble)	0 kil. 692	à fr. 0.65	fr. 0.45
Potasse	1 kil. 4	à fr. 0.80	fr. 1.12
Prix de 100 kilogrammes			fr. 2.55

Ce serait une erreur de croire que les prix des engrais, déterminés comme il vient d'être dit, répondent toujours à leur valeur pour le cultivateur ; on ne peut admettre ce fait que dans des cas exceptionnels. Au point de vue de l'agriculture, leur valeur dépend de la quantité des produits qu'ils peuvent faire obtenir, et il est ainsi facile de comprendre, par exemple, que l'azote contenu dans l'eau de fumier est pour ainsi dire sans valeur agricole pour les champs de céréales. Il y augmentera peut-être le rendement en paille, mais, dans le plus grand nombre de cas, il sera sans influence sur le rendement en grains, parce qu'il ne contient pas d'acide phosphorique. Par contre, l'eau de fumier, additionnée de phosphate, aura la même valeur, au point de vue de l'agriculture, que le fumier d'étable. De même, l'azote, s'il est contenu dans le fumier d'étable, a une plus grande valeur pour l'agriculture que lorsqu'il est renfermé dans le guano, parce que le fumier d'étable possède, par la potasse qu'il contient, une condition de fertilité qui manque au guano.

L'addition des phosphates de poudre d'os, par exemple, augmente la valeur agricole des fumiers d'étable et du guano, et ce dernier, par le mélange avec des sels de potasse, peut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

acquérir de même la valeur agricole des fumiers d'étable. L'expérience démontre que, dans bien des cas, le guano seul suffit pour augmenter les récoltes, mais les produits des champs emportant une quantité importante de potasse que le guano ne remplace pas, il s'en suit que les terres, fumées continuellement et exclusivement avec du guano, perdent toute leur potasse, et que, arrivée à une certaine limite, l'action productive du guano, si puissante au commencement, s'arrête complétement.

C'est à ces différents points de vue qu'il faut juger les diverses sortes d'engrais qui figurent à l'Exposition universelle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION V

ASSAINISSEMENT DES FOSSES ET CONVERSION DES VIDANGES EN ENGRAIS

PAR M. DUMAS.

J'ai cherché pendant longtemps un moyen administratif pratique pour résoudre la question des vidanges, de manière à satisfaire à la fois les exigences de l'hygiène dans les villes, et de la conservation des engrais au profit des campagnes. Après de nombreuses tentatives et mûre réflexion, il m'a paru qu'on devait recourir aux moyens suivants :

1° Rendre libre l'industrie des vidanges, sous réserve des droits de la police et de la surveillance;

2° Rendre libre l'industrie des poudrettes, sous réserve des obligations de police qu'il y aurait lieu d'imposer aux fabricants ;

3° *Rendre obligatoire pour tout propriétaire l'introduction dans la fosse d'une quantité, proportionnelle à la capacité de celle-ci, de réactifs capables d'assurer la désinfection instantanée, permanente et durable, des déjections, soit pendant l'usage de la fosse, soit après le transport des matières en plein air pendant leur dessiccation ou leur séjour sur le sol.*

Il est évident que la prescription énoncée dans ce dernier article est indispensable pour que les deux autres puissent avoir leur effet, et qu'il faut, avant tout, que la science et l'in-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dustrie aient fourni des procédés de désinfection convenables et certains.

Ces procédés existent. Le sulfate de fer, le sulfate de zinc et surtout le chlorure de manganèse fournissent, en effet, le moyen de transformer en sulfures insolubles et en sels ammoniacaux fixes tout le soufre et tout l'ammoniaque produits par l'altération spontanée des matières animales réunies dans les fosses.

L'expérience démontre que, avec une dépense relativement très-faible, que le vidangeur prendra le plus souvent à sa charge, les habitants d'une maison seront ainsi exonérés de toute odeur pendant que la fosse s'emplira; que la cité sera, du même coup, mise à l'abri de l'effet déplorable produit par les exhalaisons de milliers de tuyaux d'évent, rejetant dans l'air les émanations des fosses; enfin, que les dépôts de vidanges perdront leur odeur répugnante et leur insalubrité.

Il est vrai que, en précipitant le soufre et en combinant l'ammoniaque à un acide énergique, on n'a pas enlevé à la matière des vidanges cet élément organique dont la présence détermine l'odeur animale spéciale qu'elles répandent et qui est indépendante du sulfhydrate d'ammoniaque. Mais cette odeur, qui ne se répand pas au loin comme l'autre, et qui en diffère beaucoup pour l'intensité, peut elle-même être neutralisée.

Les huiles de houille, le goudron, certaines huiles volatiles, le charbon très-divisé ont été essayés comme moyens désinfectants spéciaux, et ils ont produit de bons effets, associés aux sels métalliques. Ils condensent ou détruisent cette substance animale odorante dont les sels métalliques ne s'emparent pas.

Il n'y a rien de spécial à remarquer ici sur l'emploi des goudrons et des huiles volatiles, sinon que leur effet est certain.

A l'égard du charbon, les essais tentés en Angleterre par M. Manning, qui propose l'emploi d'un charbon obtenu en chauffant les varechs avec de l'acide sulfurique, méritent une atten-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion particulière : 1° parce qu'ils donnent du charbon excessivement divisé; 2° parce qu'il est accompagné de tous les sels à base de potasse que les varechs contiennent.

Ainsi, en associant l'un des trois sels métalliques, désignés plus haut, à des quantités très-faibles même de goudron, d'huiles volatiles, de charbon de varech, on obtient une désinfection totale et instantanée.

Pour la rendre permanente et durable, même au dehors de la fosse, il reste seulement à déterminer par l'expérience la dose de désinfectant qu'il convient d'employer par mètre cube de matières pour chaque cas particulier.

Ainsi résolu, le problème laisse peu à désirer pour l'hygiène des villes ; mais l'ammoniaque se trouvant converti en un sel soluble, sulfate ou chlorhydrate, on peut craindre que, à l'égard des campagnes et pour la production des engrais, il ne donne lieu à des pertes difficiles à éviter, ces sels étant entraînés en temps de pluie, par le drainage naturel qu'éprouvent les engrais en tas ou les terres fumées.

On a donc cherché à convertir l'ammoniaque en sel peu soluble. Le phosphate ammoniaco-magnésien, signalé par M. Boussingault comme un engrais normal égal en puissance au guano, constitue le seul sel peu soluble dans lequel on puisse utilement engager l'ammoniaque.

Pour produire ce sel, il suffit de mettre en présence le phosphate acide de magnésie et de fer et les matières des vidanges. Il se produit du sulfure de fer et du phosphate ammoniaco-magnésien. Le tout constitue alors une masse de produits insolubles, qui peut être décantée, puis séchée, soit isolément, soit mêlée à d'autres engrais, dont elle ne dénature en rien les caractères. On peut encore employer des phosphates alcalins et des sels de magnésie qui, mêlés dans la fosse, donneront lieu aux réactions nécessaires pour accomplir la production du phosphate ammoniaco-magnésien.

Dans ce dernier cas, les sels employés étant neutres ne s'opposeront point à la fermentation de l'urée et à sa conver-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sion en carbonate d'ammoniaque, laquelle doit précéder l'intervention de l'acide phosphorique et de la magnésie.

Au contraire, si l'on emploie le phosphate acide de magnésie et de fer, l'urée peut résister à la fermentation, à cause de la présence de l'acide libre, et, par suite, quoique la désinfection ait lieu, quoique l'ammoniaque formé soit fixé, on ne recueille pas tout l'ammoniaque qu'on devrait obtenir.

Quoi qu'il en soit, on peut affirmer que si on obligeait, par mesure de simple police, les propriétaires à désinfecter leurs fosses par avance, les laissant libres de choisir leurs procédés parmi ceux que l'autorité aurait approuvés, et autorisant ensuite à disposer des vidanges après le remplissage de la fosse, on aurait à la fois assuré, de ce côté, la désinfection des maisons et de l'atmosphère des villes, et le retour aux campagnes de la meilleure partie des engrais urbains.

Dans la poursuite de cette solution si désirable d'un problème que je ne suis parvenu à poser d'une manière claire et pratique qu'à la longue, j'ai trouvé un concours tellement persévérant dans M. Blanchard, que j'aimerais à voir reconnaître généralement le service qu'il a rendu. Il a tenté, pendant plusieurs années, avec l'aide de M. Château, et sous diverses formes, l'emploi des phosphates et poursuivi la formation du phosphate ammoniaco-magnésien. Si le problème à résoudre s'est peu à peu condensé en une formule simple et pratique, on le doit aux expériences nombreuses qu'il a entreprises à grands frais, sur une échelle étendue, sur divers points de la France, et qui, suivies avec attention et convenablement interprétées, m'ont permis de préciser enfin le principe administratif posé dans cette note.

J'ai la conviction profonde que, à une époque prochaine maintenant, la désinfection préalable, permanente et durable des fosses et des vidanges sera considérée comme une obligation naturelle de la vie en communauté dans les villes. Les procédés chimiques pourront varier, mais le but restant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le même, ils devront tous l'atteindre, sous peine de ne point être approuvés.

M. Blanchard a contribué plus que personne à la solution du problème, en essayant successivement toutes les dispositions pratiques et donnant le moyen d'écarter celles qui se montraient insuffisantes et en choisissant, comme produit définitif, le meilleur des engrais, le phosphate ammoniaco-magnésien.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VI

ÉTAT DE L'INDUSTRIE DES ENGRAIS

PAR M. PAUL BOITEAU.

La question des engrais est examinée au point de vue théorique dans le rapport si intéressant de M. de Liebig (section IV de cette classe), et encore dans celui de M. Dumas, qu'on vient de lire. Elle a été traitée aussi, en passant, dans le rapport général de M. Balard, sur les produits chimiques (classe 44, section I), dans celui de M. Boitel sur les procédés des exploitations agricoles (classe 47, section I) et dans celui de M. Tisserant (classe 74). Il a paru à propos de placer ici quelques détails sur la situation de l'industrie des engrais elle-même.

Les chimistes laissent volontiers aux agriculteurs l'examen et l'étude des produits de cette industrie, dont ils ne veulent pas même connaître les travaux; mais, s'il est arrivé, en effet, trop souvent que des fabricants ou plutôt des marchands d'engrais se soient souciés fort peu de la science et n'aient eu pour but que de gagner de l'argent par un trafic répréhensible, il n'en est pas moins vrai que la production des engrais est l'œuvre d'une industrie de la plus grande importance, qui remue les capitaux par millions, qui est, dans plus d'un pays, dirigée par des chefs, recommandables également par leur capacité et leur bonne volonté, et qui a une influence directe sur la situation de l'agriculture elle-même. Nous nous bornons, d'ailleurs, en en parlant ici, à lier entre eux les faits et les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

éclaircissements principaux qui résultent de l'Enquête administrative récemment ouverte en France sur cette industrie, souvent avec le texte même de l'enquête, et en y joignant des notions sur la fabrication des principaux pays agricoles.

§ 1. — Nécessité d'une production d'engrais artificiels.

Toutes les plantes, de quelque nature et variété qu'elles soient, ne peuvent croître et fructifier (1) qu'en prenant au sol, pour se les approprier, la plus grande partie des éléments vitaux dont elles ont besoin. De là l'impérieuse nécessité de restituer à la terre sa puissance fécondante si l'on veut, après une récolte qu'on enlève, lui en faire produire une nouvelle.

On a cru longtemps que la jachère qui entrait dans les assolements anciens, avait la vertu de permettre au sol de reprendre, par le repos, sa fécondité épuisée. Cette pratique est presque généralement abandonnée comme une erreur matérielle.

En vertu d'un autre adage, à savoir, que la terre se repose en changeant de culture, on a appliqué la théorie des nouveaux assolements, laquelle consiste à faire succéder sans repos, sur un même sol, d'après un ordre déterminé, un certain nombre de plantes ou récoltes de nature différente. Sans nul doute, le système des assolements possède un incontestable avantage en ce que les plantes ne se nourrissent pas toutes, en égale proportion, des mêmes principes fécondants de la terre, en ce que les unes trouvent les éléments de leur vitalité dans les couches supérieures du sol, tandis que d'autres vont se nourrir dans les couches inférieures; mais il n'en reste pas moins démontré que la théorie des assolements le plus judicieusement établie ne restitue pas à la terre les éléments de fertilisation qui lui ont été enlevés par les récoltes qu'elle a portées. Il faut donc toujours en venir

(1) V. l'*Exposé des motifs du projet de loi sur les Engrais* (session de 1867).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la nécessité de rendre au sol les principes fertilisants qu'il a perdus. Cette restitution s'opère au moyen des engrais.

Les fumiers de ferme, dans ce qu'ils ont de largement utile, ne sont guère, en France, à la disposition que d'un petit nombre de grands agriculteurs. Les petits cultivateurs qui, de leurs propres mains, soignent de modestes domaines de deux ou trois hectares d'étendue, ne peuvent avoir de prairies pour élever du bétail et, avec le bétail, se procurer du fumier. Il leur faut donc d'autres engrais. D'ailleurs, le fumier de ferme n'est pas absolument bon pour toutes les récoltes, quoiqu'il n'y ait pas d'engrais qui soit plus généralement efficace, et quoique évidemment le moyen le plus simple de se procurer des engrais, ce soit de les créer sur place.

Mais qu'on laisse de côté ces distinctions et qu'on évite de s'engager dans la discussion du système qui supprime les engrais de ferme et les engrais naturellement composés et qui, isolant, suivant les récoltes, les principes de la nourriture habituelle des plantes, ne donne aux unes et aux autres, pour les faire croître, que des éléments chimiques, fabriqués dans l'usine; — le fait qui frappe immédiatement l'attention et domine les débats, c'est qu'un grand pays, c'est qu'une vieille terre cultivée, comme l'est le sol de la France ou celui de l'Angleterre, manque actuellement d'une grande partie des engrais qui lui sont nécessaires.

Pour fumer convenablement les champs de la France, il faudrait, par exemple, 2 milliards 850 millions de quintaux métriques d'engrais normal ; les fumiers d'exploitations n'en fournissent guère que 920 millions. Reste à pourvoir à un déficit annuel de 1,930 millions de quintaux. La fabrication ou l'introduction des engrais de tout genre ne dépasse pas 710 millions. Il manque donc environ 1,220 millions de quintaux d'engrais à l'agriculture française. Ces chiffres, de l'avis des personnes les plus compétentes, sont plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité.

Ainsi, à la suppression des jachères et même à la constitu-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion actuelle des assolements (1) répond la nécessité de l'intervention des engrais, c'est-à-dire de la production active des engrais naturels, de la création plus abondante des engrais artificiels et de l'abaissement du prix de tous les engrais.

Il n'y a en France aucune région où l'engrais surabonde, même au Nord. Si l'on exporte de là des noirs qui vont en Bretagne, c'est que le sol est assez riche en phosphates pour s'en passer ; mais il n'en est pas de même des engrais azotés, dont la demande y est très-vive.

Dans les cultures les plus perfectionnées, le prix de l'engrais entre encore pour cinq francs dans le prix de l'hectolitre de blé, pour cinq francs dans celui de la tonne de betterave, pour dix centimes dans le prix du kilogramme de viande produite. Il est donc indispensable d'encourager la production des engrais. Si le premier souci de l'agriculteur doit être de ne rien perdre de ce qui, sur l'étendue entière de sa ferme, peut servir à engraisser le sol (on a été jusqu'à prétendre que la France perd ainsi, chaque année, pour 2 milliards d'engrais, en indiquant le moyen de ne les point perdre), il n'en reste pas moins certain que l'industrie des engrais est l'une des plus importantes que l'on puisse encourager.

§ 2. — Motifs et dispositions de la loi de 1867.

On s'est plaint maintes fois des fraudes commises par les producteurs d'engrais. L'enquête spéciale faite en France a fait voir que la fraude, nous l'avons dit déjà, est presque toujours à attribuer aux intermédiaires. Mais peu importait d'où elle vînt, il y avait, on l'a cru du moins, à essayer de remédier à un mal qui frappait le plus grand nombre de nos agriculteurs, et surtout les plus pauvres.

En effet, si les riches agriculteurs possèdent généralement des lumières suffisantes pour repousser la fraude ou assez de

(1) V. le Rapport de M. Dumas, président de la Commission d'Enquête, au Ministre de l'Agriculture.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vigueur pour la poursuivre, il n'en est pas de même de la masse des campagnards : ils se laissent aisément tromper et n'ont pas les moyens, quand ils se sont aperçus du tort qu'ils ont subi, d'en faire condamner les auteurs. La jurisprudence elle-même avait maintes fois empêché l'action des lois répressives en général de la fraude de s'exercer dans ces cas spéciaux. Or, il y a plus d'une manière de frauder dans le commerce des engrais (1). Pour les engrais dits naturels, on les humecte, on y introduit des substances inertes ou peu actives, on en soustrait les principes les plus propres à fertiliser la terre, on indique une fausse proportion des éléments essentiels, comme l'azote et les phosphates, ou encore on attribue une fausse origine à des produits d'une provenance peu recherchée. Pour les engrais artificiels, on leur donne des noms destinés à faire croire à une puissance qu'ils n'ont pas, on les place sous des marques qui appartiennent à des engrais de qualité supérieure, ou bien l'on déclare qu'ils renferment en quantité suffisante des éléments utiles dont quelquefois même ils sont absolument privés.

Depuis longtemps donc le gouvernement s'était ému des plaintes que provoquent tous ces genres de fraude, et, en 1851, une commission administrative fut formée pour étudier le moyen de répandre, d'une part, l'usage des engrais utiles et de protéger, de l'autre, l'agriculture contre la mauvaise foi des vendeurs d'engrais. Quelques administrations départementales, sans attendre la proposition d'une loi, se crurent même le droit d'intervenir et d'exercer vis-à-vis de ces derniers un système de prévention et de surveillance que les idées modernes sur la liberté du commerce et de l'industrie rendent toujours si délicat, si difficile à pratiquer. Ces administrations sortaient évidemment de la légalité, car ce n'est qu'aux pouvoirs municipaux qu'est accordé le droit de réglementation dans des cas semblables. Mais il ne s'agit pas seulement ici

(1) Rapport du Ministre à l'Empereur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de légalité, et la matière ne rentre pas dans les attributions d'un pouvoir administratif quelconque. Quoi qu'il en soit, on jugea utile de préparer une loi générale et de commencer par ouvrir une enquête auprès du ministère compétent.

Il est résulté des faits et des idées qui se sont produits que la loi ne devait être que répressive ; et, en définitive, voici le texte de celle qui a été votée en 1867 : « Seront punis d'un emprisonnement de trois mois à un an et d'une amende de 50 francs à 2,000 : 1° ceux qui, en vendant ou en mettant en vente des engrais ou amendements, auront trompé ou tenté de tromper l'acheteur, soit sur leur nature, leur composition ou le dosage des éléments qu'ils contiennent, soit sur leur provenance, soit en les désignant sous un nom qui, d'après leur usage, est donné à d'autres substances ; 2° ceux qui, sans avoir prévenu l'acheteur, auront vendu ou tenté de vendre des engrais ou amendements qu'ils sauront être falsifiés, altérés ou avariés. » La récidive, dans les cinq ans, peut être punie d'une peine double.

§ 3. — Engrais employés en France.

Sans rentrer dans l'examen de la question scientifique, nous devons dire que si M. Liebig considère comme généralement peu utile l'azote de l'engrais, d'autres chimistes éminents ne sont pas de cet avis. « Il a des idées trop absolues, dit à l'Enquête M. Kuhlmann. Alors même qu'on admettrait l'action du phosphate et des autres engrais minéraux comme suffisante, les principes ammoniacaux interviennent pour achever la végétation et surtout la fructification. » De même, si le sel a été, un moment, préconisé comme une panacée de l'agriculture, il est convenu maintenant, sauf peut-être encore dans quelques régions de l'Angleterre, que le sel n'est pas bon pour toutes les cultures ; il nuirait même plutôt, par exemple, à celles du Nord de la France. Son utilité incontestable c'est d'exciter l'appétit des animaux, mêlé à leur nourriture, et, par conséquent, de les engraisser tout en leur faisant produire des déjections plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

abondantes. Mais si aucun engrais n'est absolument bon dans tous les cas, l'ensemble des engrais employés constitue une masse précieuse de ressources pour l'agriculture générale.

Production et Consommation. — En France, on utilise le guano, la poudrette et l'engrais humain, le noir animal, les os, les cornailles, les débris d'équarrissage, les chiffons de laine, les tourteaux de graines oléagineuses, les résidus de la raffinerie et de la distillerie, les cendres et charrées, les cendres pyriteuses, les engrais marins. Enfin, un engrais récemment découvert, le phosphate de chaux fossile, tend à prendre place parmi les substances utilisées, pour remplacer les os et le noir animal.

La consommation annuelle des engrais artificiels paraît dépasser, en France, dès à présent, le chiffre de 105 millions de quintaux métriques, d'une valeur d'au moins 500 millions de francs. Ils sont employés journellement dans 67 départements, et il n'y a que 6 départements où leur usage soit tout à fait inconnu (1).

Le tableau résumé des analyses faites à Nantes dans une période de dix années (1851-60) donne une idée de la proportion dans laquelle les divers engrais sont employés dans les régions de l'ouest.

Noir animal	1,084
Noir et tourbe animalisée	2,498
Guano naturel	40
Guano artificiel	53
Charrées et cendres	247
Poudrettes et composts	134
Matières diverses	55
Total	4,111

Les phosphates n'étaient pas encore connus industriellement au moment où les dernières de ces analyses ont été

(1) V. le Rapport du Ministre de l'Agriculture à l'Empereur.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faites. La Bretagne s'est emparée avec avidité de cette nouvelle matière de compensation pour les récoltes tirées de son sol. En ce moment, non-seulement dans l'ouest, mais dans le centre de la France, on semble disposé à employer aussi les produits de la Compagnie Chaufournière, c'est-à-dire de la chaux mêlée à des substances animales.

Vidanges. — L'utilisation des vidanges et l'emploi de leurs produits traités par la chaux dite alors « animalisée » semble être le procédé le plus simple à recommander pour remédier à l'insuffisance des engrais (1). Plus de 18 millions et au moins 15 millions de mètres cubes de déjections pourraient être ainsi utilisés, en partie du moins, et jusqu'à présent, on n'a pas fait de grands efforts, sauf dans quelques centres de population, pour en tirer parti, A Paris même, la moitié au moins des engrais utilisables est jetée à l'eau et perdue. En calculant au plus bas, on perd en France, rien que par le peu de soin mis à utiliser les vidanges, 100 millions de kilogrammes d'azote et 27 millions d'acide phosphorique : de quoi engraisser 4 ou 5 millions d'hectares (2).

On obtient encore la désinfection des fosses (3) par le phosphate acide double de magnésie et de fer. De plus, le carbonate d'ammoniaque de l'urée se transforme ainsi en phosphate ammoniaco-magnésien, sel très-fixe, ce qui permet de garantir la richesse absolue de l'engrais. Très-peu soluble dans l'eau, ce sel se dissout aisément dans le sol et est très-assimilable par les végétaux.

Noirs. — Le noir animal s'emploie très-peu dans le midi (4) où la nature du climat et du sol paralysent son action. Ce qui se fait de noirs dans le pays s'exporte principalement pour la Bretagne.

(1) Déposition Féraud-Giraud.
(2) Déposition Mosselman.
(3) Opinions de MM. Moll et Payen.
(4) Déposition Château.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Tourteaux. — Les tourteaux de graine de lin s'exportent aussi pour la nourriture des bestiaux; mais les tourteaux d'arachide, de sésame, de coton, de palmiste, de ricin servent comme engrais. Marseille en livre peut-être 60 millions de kilogrammes à la consommation au prix de 11 et 12 francs les 100 kilogrammes pour les sésames blancs, 10 et 11 francs les noirs; 11 francs les arachides décortiqués; 10 fr. 50 et 10 francs les arachides non décortiqués; 7 et 8 francs les cotons; 4 et 5 francs les palmistes. Le ricin sert, en poudre, pour le jardinage et les prairies. Le colza, qui arrive par Lyon ou par mer, vaut de 13 à 14 francs. Il existe, pour tous les genres, des qualités inférieures de tourteaux, faits de débris de tourteaux mélangés à des poussières et à des terres diverses.

Goëmons. — Ailleurs, le long des côtes (mais, sur les bords de la Méditerranée, le flot découvre à peine, et c'est surtout près des rivages de la Bretagne et de la Normandie), on fume les terres avec les goëmons, les sables coquilliers, la tangue, les trez, les maerls blancs et roses, les blancs sablons, les polypiers; ce n'est là malheureusement une ressource que pour l'agriculture locale.

Guano. — L'engrais le plus généralement apprécié est encore le guano du Pérou. En 1853 (1), le guano des îles Chinchas a été estimé, en puissance, à 4,189,477 tonnes de 1,000 kilogrammes pour l'île du Nord, 2,505,468 pour l'île du Milieu et 3,680,695 pour l'île du Sud. L'exploitation de l'île du Nord touche à sa fin. Il ne doit donc rester aux îles Chinchas qu'environ 8 millions de tonnes; mais il en existe à peu près autant dans d'autres dépôts naturels: aux îles Lobos, 3 millions de tonnes de guano de 1re qualité et 1 million de seconde; 1,500,000 de première aux îles Macabi et

(1) A cette époque, l'agriculture des divers pays du monde avait payé déjà (depuis 1840, à 380 francs la tonne) 5 milliards 320 millions pour 14 millions de tonnes de guano.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2,500,000 aux îles Guanapa. A 400,000 tonnes par an, chiffre moyen de l'exploitation, cette réserve peut durer 40 ans et 30 ans au moins, si l'estimation a été bien faite. Mais qu'est-ce que 30 ou 40 ans pour l'avenir de l'agriculture ?

Néanmoins, le guano du Pérou qui, par convention officielle, nous est livré à 310 francs les 1,000 kilogrammes en toute quantité par les consignataires du gouvernement péruvien est très-recherché en Angleterre et en France. Les Anglais en consomment 200,000 tonnes et nous 50,000 (1). En 1863 et en 1864, il a été importé en France 100,000 tonnes (et non pas 50,000) par an, parce qu'on a reconstitué les stocks au Havre, à Dunkerque, à Nantes. Bordeaux seul avait quelques milliers de tonnes en dépôt. Pour Dunkerque, le transport n'est pas fait en entier par navires français. La surtaxe, d'abord fixée à 30 francs a été réduite à 18 francs. C'est pour nos agriculteurs un désavantage encore sérieux qu'il dépendrait du gouvernement de faire disparaître tout à fait.

Après le guano et avec le noir animal, l'engrais le plus estimé est, depuis quelques années seulement, le phosphate de chaux.

Phosphate de chaux. — Les premières indications de chaux phosphatée en France remontent à 1818 ; mais ce n'est qu'en 1856 que M. de Molon a publié le Mémoire à l'Académie des sciences, qui est le point de départ des recherches rationnelles qu'on a faites chez nous. En Angleterre, on avait commencé plus tôt, sous l'inspiration de Buckland. En Allemagne, M. de Liebig conseillait, en 1857 déjà, de dénaturer au moyen de l'acide sulfurique les nodules de phosphate de chaux fossiles ou coprolithes, c'est-à-dire excréments des grands ichthyosaures

(1) 1852, 129,889 tonnes de 1,015 kilog.; — 1853, 123,116; — 1854, 235,111; — 1855. 305,061; — 1856, 191,501; — 1857, 288,362; — 1858, 353,541; — 1859, 84,122; — 1860, 141,435; — 1861, 178,125; — 1862, 141,636; — 1863, 233,574; — 1864, 131,358; — 1865, 237,393; — 1866, 135,697.

L'exportation moyenne est de 12 ou 15,000 tonnes par an; le prix moyen est de 300 francs la tonne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

antédiluviens, afin de rendre immédiatement le phosphate soluble, donnée scientifique excellente pour le sol généralement calcaire des Anglais. En France, on a jugé que la pulvérisation pourrait suffire.

Il résulte des découvertes de M. de Molon, au point de vue géologique : 1° que les indices qui ont servi à établir l'existence des gîtes réguliers de phosphate de chaux fossile appartiennent, pour une petite part, aux formations géologiques dites jurassiques et tertiaires, et, pour la plus grande partie, à la formation crétacée ; 2° que les gîtes susceptibles d'exploitation appartiennent tous à la partie inférieure de la formation crétacée ; 3° que le lit de nodules découvert dans une longueur de plus de 300 kilomètres existe à une petite profondeur au-dessous du banc de l'argile de gault et lui est constamment subordonné (1).

Les encouragements particuliers de l'Empereur ont récompensé et soutenu les travaux si utiles de M. de Molon. C'est avec une somme prêtée par la cassette impériale que les premiers essais d'exploitation régulière ont été entrepris. Ces essais n'ont pas été très-fructueux pendant longtemps ; mais en 1860, lors de l'Exposition Générale d'Agriculture, la plus haute récompense fut décernée à M. de Molon, et on demanda pour lui un témoignage exceptionnel de la reconnaissance nationale.

En somme, il a été constaté qu'il existe des gisements de phosphate naturel, exploitables avec profit, dans le Pas-de-Calais, les Ardennes, la Meuse, la Marne, la Haute-Marne, l'Aube, l'Yonne et, au sud-est, dans les Alpes-Maritimes. Beaucoup d'autres départements (environ quarante), présentent, dans leur sol, des indices favorables que justifieront sans doute des recherches ultérieures. Dans l'ouest de la France, au contraire, surtout en Normandie, tout fait croire qu'il n'y a pas de phosphate fossile à découvrir. Du reste, toutes les données déjà

(1) V., pour les détails, le Rapport de M. Daubrée, t. V, p. 240.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réunies ont été portées sur une carte spéciale de la France par les soins de M. de Molon, et cette carte est un guide pour la minéralogie à la fois et pour l'agriculture. Dans l'état présent des choses, on exploite les nodules de phosphate de chaux dans les Ardennes, à Novion-Porcien dans la Meuse, à Grandpré, Macheroménil, à Saulces-Monclin, à Sorcy, à Bar-le-Duc, à Sermaise, à Rovigny, sur une étendue enfin de 150 kilomètres. Entre Toulon et Antibes, il y aurait de l'avantage à entreprendre aussi l'extraction du nouvel engrais. Dans le Pas-de-Calais, l'extraction se fait, presque toute, à l'usage de l'Angleterre, où on le dissout, comme nous l'avons dit, par le traitement à l'acide sulfurique. On compte, en somme, près de 150 exploitations de phosphate de chaux ou phosphorite en France. Indépendamment des phosphates fossiles ainsi découverts, il existe en Espagne du phosphate naturel qui ne doit pas son existence à la vie animale, mais il est cristallisé, ou du moins sur les limites de la cristallinité et de l'amorphisme; il est fort difficile à broyer, et il doit être traité par l'acide sulfurique avant d'être employé par l'agriculture.

L'opinion d'agronomes, de chimistes très-éclairés est, d'ailleurs, qu'il vaut mieux (1) mettre les poudres de phosphate dans les fumiers que de les mêler directement à la terre.

On a remarqué que le phosphate minéral, finement pulvérisé (2), réussit tout seul, mieux même que le noir animal, dans les sols neufs ou nouvellement défrichés. Il est reconnu, d'ailleurs, que l'élément phosphaté est nécessaire pour toutes les récoltes et dans toutes les terres, mais que seulement il a besoin d'être associé, dans beaucoup de cas, à d'autres éléments azotés et minéraux pour être immédiatement assimilable. Ces remarques ont donné, un moment, l'idée de créer des engrais de plusieurs titres dits *Phosphonitres*, n^os^ 1, 2, 3 à

(1) Déposition de M. Malaguti.
(2) Déposition de M. Barral.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

19 fr. 50, 15 fr. 50 et 12 francs les 100 kilogrammes sans sac, qui, à l'analyse, donnaient : plâtre, 56 pour 100 ; phosphate, 33.92 ; sulfate d'ammoniaque, 4.27 ; azotate de soude, 4.40 ; chlore, potasse, magnésie, 0.65. En effet, la solubilité des phosphates du guano étant attribuée, depuis les études de MM. Liebig et Boussingault, à l'acide oxalique, il avait paru utile d'essayer si on ne pourrait pas rendre le phosphate de chaux soluble dans du plâtre et former une masse contenant de 20 à 30 pour 100 de nitrates ou de sels ammoniacaux, par l'introduction de l'acide oxalique tiré d'oxalates susceptibles d'être fabriqués en grand ; mais cette production n'a point été considérée comme définitivement acceptable, et l'agriculture n'emploie que les phosphates purs.

Le rendement en phosphate des divers phosphates de chaux est loin d'être le même. Il y a des gisements de toutes qualités, et ceux de la France ne sont pas les plus riches que l'on connaisse.

Du reste, ni le noir animal, ni le phosphate, le noir animal surtout, ne conviennent à toutes les cultures ; mais, en somme, ils sont les plus généralement utiles des engrais puissants, après le guano et le produit des vidanges bien traitées. Le noir agit plus vite ; l'action du phosphate est plus durable ; quoique l'azote y manque presque entièrement, il a fait des merveilles en Bretagne.

Les engrais mélangés sont ceux dont l'effet est le plus douteux. Trop de matières inertes peuvent y être introduites, ou des matières d'une utilité réelle, comme la marne, la tourbe, la chaux, mais qu'il convient d'employer sans mélange et en quantités connues pour des besoins déterminés.

Engrais de débris de poissons. — Parmi les fabrications les plus simples et les plus soignées, on a signalé déjà, dans le Rapport du Jury de 1862, celle de M. Rohart qui, avec des moyens de travail aussi bien entendus que puissants, recueille sur les lieux mêmes de production, en Norwége, aux îles Lof-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

foden, les têtes et vertèbres de poissons provenant de pêches qui, annuellement, tirent de la mer 20 ou 25 millions de morues d'un poids d'environ 100 millions de kilogrammes. Les débris étaient perdus. Ils sont séchés sur les rochers, au vent d'Est, puis soumis dans des appareils autoclaves à l'action de la vapeur, sous la pression de sept ou huit atmosphères, pour perdre leur élasticité et devenir cassants. Sortis avec 20 ou 25 pour 100 d'humidité, ils sont séchés sur des tourailles ou chambres chaudes comme celles qui servent à la dessiccation du malt dans les brasseries, et au bout de huit heures les résidus deviennent friables. Il suffit de les faire passer sous la noix de trois moulins superposés pour les convertir en poussière. Le mètre cube de têtes séchés à l'air ne pèse que 67 kilogrammes; le mètre cube de poudre pèse 670. Cette poudre a l'apparence de la chapelure grossière; plus fine, elle serait trop facile à falsifier, sans être plus utile. En moyenne cet engrais donne à l'analyse 9 pour 100 d'azote et 30 pour 100 de phosphates. Il coûte, à Paris, 25 francs les 100 kilogrammes (1).

Il faut dire que des agriculteurs expérimentés n'ont tiré qu'un médiocre profit même de l'emploi de cet engrais (2), mais il est incontestable que, dans beaucoup de cas, il a parfaitement réussi.

Il n'y a pas que sur les côtes de la Norwége qu'on en peut fabriquer. A Terre-Neuve, on jette à la mer, par an, 700,000 tonnes de débris (3). On en tirerait 150 millions de kilogrammes d'engrais, c'est-à-dire de quoi fumer 450,000 hectares. Aussi s'occupe-t-on d'y créer des fabriques d'ichthyo-guano pouvant contenir 12 pour 100 d'azote, 14 pour 100 de phosphate et ne coûtant, sur place, que 24 francs.

Autres Engrais. — Nous n'avons rien à dire des mélanges

(1) D'après les agronomes anglais, l'agriculture ne doit payer l'azote que 1 fr. 25 le kilogramme et les phosphates que 0 fr. 23.
(2) Déposition de M. Decauville.
(3) Déposition de M. de Molon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

divers que quelques fabricants ont imaginés et sur la composition desquels ils ne s'expliquent pas. C'est là justement le genre d'engrais que la science se refuse à encourager. Il est particulièrement douteux, par exemple, que ceux qu'on vante comme ayant la vertu de féconder les semences par le simple pralinage soient de quelque utilité.

Le pralinage, il est vrai, est très-usité en Chine, surtout dans le sang de porc coagulé, mélangé avec de la paille de riz, séché, retrempé de sang, séché encore, retrempé et séché jusqu'à trois fois, puis pulvérisé; mais cette pratique n'empêche pas du tout l'usage des engrais. Toutefois, il y a des terres où on suppose, en Chine, que le pralinage suffit (1).

§ 4. — Production et consommation des pays étrangers.

Il est remarquable qu'il ne se soit pas encore établi, dans l'Amérique méridionale, de grandes fabriques d'engrais de chair, d'os, de sang et de toutes les dépouilles animales qui y abondent. Pourquoi les saladeros ne font-ils pas recueillir et sécher le sang des bestiaux qu'ils tuent par masses? Mêlé à des cendres d'os, ce serait un engrais excellent. Si les contrées où une telle source de richesses se perd sans profit étaient habitées par les Américains du Nord, il y a longtemps déjà que l'Europe aurait été mise en état d'en tirer parti. Ils auraient commencé par fabriquer le produit et par l'offrir. Les Américains du Sud attendent qu'on le leur demande. Ils laissent donc le sang se perdre en infectant les exploitations.

Angleterre. — Les Anglais ont commencé depuis plus longtemps que nous à rechercher tous les engrais naturels et à fabriquer des engrais artificiels pour entretenir la fertilité de leurs terres. On pense qu'ils emploient annuellement 500,000 tonnes d'engrais de commerce, dont 200,000 tonnes de Guano du Pérou. C'est le quadruple de ce que nous employons. Dans

(1) Déposition de M. Simon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces derniers temps on a utilisé avec succès les boues de la Tamise pour ajouter à cette masse de ressources. Comme les fermiers sont assez généralement éclairés, les affaires se traitent en Angleterre sans difficulté, et les grands producteurs d'engrais ont tout intérêt à satisfaire leurs clients et à ne pas se laisser soupçonner de fraude.

De même que chez nous, après le guano et les noirs, c'est le phosphate de chaux qui est l'engrais le plus en faveur; seulement les Anglais ne l'emploient pas pulvérisé, comme nous l'avons dit, mais traité par l'acide sulfurique. Pour la fabrique du phosphate dissous par l'acide on a renoncé aux phosphates naturels d'Espagne, qui sont trop durs à broyer, malgré l'invention de machines puissantes. Les coprolithes du Cambridgeshire sont les plus recherchés. Tout lavés, ils valent 50 francs la tonne à Londres et donnent au moins 60 pour 100 de phosphate, tandis que ceux des Ardennes n'en donnent que 40.

Voici la proportion des matières premières employées par la fabrication anglaise :

Coprolithes de Cambridge	80,000	tonnes
Guano phosphatique de l'île Sombrero	20,000	—
Guano de l'île Baker	12,000	—
Autres guanos phosphatiques	10,000	—
Cendres d'os	20,000	—
Os non calcinés	10,000	—
Résidus de raffinerie, noir animal	5,000	—
Guano péruvien et autres guanos ammoniacaux	2,000	—
Sulfate d'ammoniaque	2,000	—
Nitrate de soude	1,000	—

et de plus des résidus d'abattoirs et d'équarrissage.

En supposant qu'il faut une tonne d'acide sulfurique pour en dissoudre deux de matières phosphatées, la fabrication anglaise produit 250,000 tonnes d'engrais artificiel, quantité qu'un petit nombre d'intermédiaires trouvent sans doute encore le moyen d'augmenter par l'addition de matières plus ou moins inertes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En 1865, il a été importé en Angleterre 65,642 tonnes d'os, valant 362,000 liv. sterl. (9,050,000 fr.); 237,393 de guano, valant 2,676,000 liv. sterl. (64,400,000 fr.), et 8,025 d'autres substances, valant 40,000 liv. sterl. (1,250,000 fr.).

Les fabricants d'engrais de l'Angleterre produisent par masses bien autrement considérables que les nôtres, et ont des moyens de vente véritablement gigantesques : ainsi la maison Edw. Packard et Cie, qui a ses principales usines à Ipswich et à Brainford. Ces fabricants de phosphates ou superphosphates sont aussi fabricants de l'acide sulfurique qu'ils emploient. Ils extraient les phosphates de chaux fossiles des comtés de Cambridge, de Suffolk et de Bedford, en Angleterre; les apatites de Nassau, en Allemagne, et des îles Navassa et Sombrero, dans les Antilles, et les phosphorites de Cacéres, en Espagne. Cette maison fournit, à elle seule, une forte partie des phosphates dont se sert l'agriculture anglaise, c'est-à-dire environ 40,000 tonnes, dont 20,000 en superphosphates. Ses moulins sont montés avec un grand soin, et celui d'Ipswich, situé sur le quai du Bassin, est le plus important du monde entier. Les farines qu'il donne sont d'une finesse remarquable. Les usines Packart (1), situées à proximité des chemins de fer et des ports de mer, expédient partout leurs produits aux prix de transport les plus réduits. Ces produits sont visiblement d'une qualité toujours la même; ils contiennent relativement moins d'humidité et plus de phosphate soluble que d'autres. Aucune quantité n'est vendue sans un certificat d'analyse, signé par un chimiste. Les prix sont, pour chaque tonne, de 1,015 kilogrammes :

	Acide phosphorique.	Phosphate soluble.	Prix.
Superphosphate de Cambridge..	13.5 p. %	30 p. %	100f

(1) Notons ici que cette maison, la plus grande qui existe (elle possède plusieurs navires de 300 tonneaux pour ses transports), occupe directement ou indirectement des milliers d'ouvriers et employés de tout ordre, et qu'elle fait une pension à ses invalides. Elle en compte en ce moment 59, recevant 15 liv. (18 fr. 75) par semaine.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Superphosphate de Nassau	13.5 p. %	30 p. %	100
— de Navassa.....	14.5 —	31 —	100f
— de Sombrero...	17.5 —	38 —	125f
— d'Estramadoure.	16 —	35 —	112f 50
— de Suffolk.....	11 —	24 —	93f 75

Cet aperçu donne une idée des moyens de fabrication et d'écoulement que possèdent les grandes maisons anglaises.

Allemagne et Russie. — En Allemagne, on emploie, comme chez nous, le guano et surtout les noirs d'usine. Les phosphates sont moins employés. Les os en poudre sont très-estimés des agriculteurs et sont presque exclusivement recherchés dans les régions orientales, en Pologne et en Russie.

La poudre d'os étuvée (ainsi celle que produit la maison Schœrner, de Sosnowice, qui a vu ses produits très-habilement préparés, appréciés particulièrement à l'Exposition), est employée, ou seule ou additionnée d'une quantité d'acide sulfurique, dans la proportion de 10 à 40 pour 100. On la mélange avec de la terre en la répandant. Pour une culture ordinaire, il faut 400 kilogrammes à l'hectare, mis en terre avant les semailles; de 1,000 à 15 ou 1,600 kilogrammes pour les betteraves. Si la poudre n'est pas étuvée, on la mouille quelques jours avant de l'employer avec de l'acide sulfurique. La poudre de cornes est excellente pour les gazons et les prairies, à raison de 400 kilogrammes l'hectare. Elle est plus azotée que la poudre d'os. Il se fait un assez grand commerce de ces poudres à Saint-Pétersbourg, à Moscou, à Varsovie et à Trieste.

Produits exposés. — L'Exposition offrait une assez grande collection d'engrais naturels et artificiels, mais isolés les uns des autres, égarés même hors de la classe où ils devaient figurer, et d'ailleurs fort difficiles à juger dans les vases qui les contenaient. On n'a accordé de distinction qu'à quelques-uns : ceux de l'*Institut agricole de Saint-Pétersbourg* (1) et

(1) La collection des substances préparées dans le laboratoire de l'Institut

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de MM. Friestedt (Stockholm, engrais d'os) ; Gits et Cie (Anvers, engrais artificiels) ; E. Cohn (Martiniquefelde, Prusse) ; A. Frank (Strasfürt, Prusse, engrais potassiques) ; E. Derrien (Chantenay-sur-Loire), et de la *Fabrique chimique* de Lysager (Christiania, engrais d'os). On pourrait citer également (et nous avons parlé déjà de quelques-uns d'entre eux), les produits divers de MM. Rohart (Paris), Berger et Barillot (Moulins), Bordron (Vendée), Chevallier fils et Cie (Paris), Dulac (Paris), Despax aîné et Cie (Toulouse), Desailly (Ardennes), Dior (Manche), Bossy (Rochefort), Soulié (Calvados), Quemet (Nantes), Lajoye (Manche), Gallet, Lefebvre et Cie, Jaille (Agen), Mosselman (Compagnie Chaufournière de l'Ouest), Pichelin et Pichelin frères (de la Motte-Beuvron), Terme (Paris. — C'est la maison fondée par M. de Molon), Malnuit (Charente-Inférieure), Mengy (Troyes). Quelques engrais ont été envoyés par des fabricants de nos colonies.

Evidemment, les producteurs d'engrais qui ont exposé méritent des éloges ; car en allant ainsi eux-mêmes au-devant de l'examen de la science, ils protestaient contre les fraudes commises dans leur industrie.

La Belgique n'était représentée que par deux exposants ; la Suisse, l'Italie, l'Espagne, l'Autriche étaient représentées par trois ou quatre pour chaque pays ; la Russie, le Danemark, la Suède, la Hesse ont également exposé. Après la France et l'Angleterre, c'est la Prusse qui a envoyé les produits les plus nombreux. Il y a des maisons très-honorables et très-importantes en Prusse. Pour l'Angleterre, nous avons dit qu'elle y est l'échelle de la production et de la fabrication des engrais.

agricole de Saint-Pétersbourg était fort intéressante. Elle a été l'objet d'un mémoire explicatif. Elle se divisait en trois parties :

1° Les substances utilisées par un procédé particulier de préparation des engrais phospho et azoto-alcalins, qui s'obtiennent en traitant les os, les cornes, les sabots, les plumes par les alcalis caustiques ;

2° Les substances constitutives des déjections humaines classées et analysées d'après leurs provenances ;

3° Les substances représentant la composition de tourteaux d'*helianthus annuus* (soleil).

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Nous aurions pu, aux détails donnés sur les usines de M. Packard, en ajouter d'autres sur des maisons comme celle de M. Goulding (Cork et Dublin) ou la *London Manure Company*, mais on serait ainsi entraîné trop loin.

Il était, bien entendu, venu à l'Exposition du guano du Pérou. On en voyait de quelques autres provenances; par exemple, de Cape-Town. L'Égypte exposait de la colombine, et l'Inde elle-même quelques engrais de Penang.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 49

ENGINS ET INSTRUMENTS DE LA CHASSE, DE LA PÊCHE ET DES CUEILLETTES

SOMMAIRE :

Seciton I. — Articles de pêche, par M. GILLET DE GRANDMONT, docteur en médecine.

Section II. — Matériel et procédés de pisciculture fluviale, par M. COUMES, inspecteur-général des Ponts et Chaussées.

Section III. — Appareils plongeurs et scaphandres, par M. le docteur GILLET DE GRANDMONT.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 49

—

ENGINS ET INSTRUMENTS DE LA CHASSE, DE LA PÊCHE ET DES CUEILLETTES

—

SECTION I

—

ARTICLES DE PÊCHE

CANNES, LIGNES, MOULINETS, HAMEÇONS, APPATS, ETC.
FILETS DE MER ET D'EAU DOUCE, MACHINE A FABRIQUER LES FILETS.

PAR LE Dr A. GILLET DE GRANDMONT.

—

CHAPITRE I.

CANNES, LIGNES, HAMEÇONS, APPATS.

C'est dans la partie française de l'Exposition que se rencontrent les vitrines les mieux assorties en articles de pêche, et l'on peut y constater le développement que, depuis 1855, nos fabricants ont donné à leur industrie. Si aucune invention bien saillante, à part celle des machines à faire des filets, n'est venue modifier les anciens procédés de fabrication, il est cependant juste de dire que nos articles ne laissent rien à désirer, sous le double rapport de la qualité des matières premières et du fini du travail. Notre commerce s'est affranchi,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par ses propres efforts, de tout achat fait à l'étranger, et n'étaient les hameçons d'eau douce qu'il tire encore d'Angleterre, il ne livrerait plus que des articles provenant des fabriques françaises; au reste, ces produits s'exportent dans le monde entier, et l'on peut estimer à un million le chiffre des ventes annuelles. Est-ce à ses perfectionnements de l'ustensile que la pêche d'eau douce doit d'être comptée aujourd'hui parmi les nobles exercices du sport? Je l'ignore. Toujours est-il que les engins actuels distancent de beaucoup les grossiers instruments d'autrefois : une simple gaule de coudrier, un fil grossier devaient plutôt effrayer le poisson que surprendre sa défiance.

§ 1. — Cannes à pêcher.

On distingue plusieurs sortes de cannes à pêcher; je ne parlerai ici que des principales. La canne à pêcher le saumon et la truite est, de toutes, la plus parfaite. Il y a quelques années, l'Angleterre avait le monopole de sa fabrication; mais depuis 1862, les fabricants français livrent au commerce des articles qui ne le cèdent en rien à ceux de nos voisins; ces cannes faites en bois d'hicory (*juglans alba*) refendu et tourné, offrent une légèreté très-grande et une souplesse remarquable. Elles se composent de quatre brins terminés par des viroles de cuivre qui s'emboîtent les unes dans les autres, à la façon des diverses pièces d'une flûte; la précision de ces ajustements fait leur solidité.

La canne mesure de 4 à 5 mètres et ne pèse souvent pas 400 grammes. Or, si l'on tient compte de ce que le plus gros bout, afin de mieux faire contre-poids, pèse à lui seul 250 grammes environ, on peut juger de la finesse et de l'élégance des autres pièces; ces cannes présentent, sur leur longueur, de petits anneaux dans lesquels la ligne doit passer pour venir se fixer sur le moulinet.

Une canne à saumon doit être légère, parce que l'amateur parcourt quelquefois 12 et 15 kilomètres, le long d'une rivière,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jetant par-ci par-là ses mouches aux poissons qu'il voit sauter ; elle doit être souple, parce qu'elle permet mieux d'agiter la mouche artificielle et de lui donner les apparences de la vie ; enfin elle doit être longue pour faire voltiger l'appât aussi loin que possible de la rive.

La canne destinée à la pêche de la carpe et du brochet est ordinairement divisée en quatre ou cinq pièces de roseau ou de bambou qui s'emboîtent les unes dans les autres ; ces cannes, longues de 5 à 7 mètres, doivent offrir une grande résistance ; car, le plus souvent privées de moulinet, elles ont à supporter le poids des pièces les plus volumineuses, puisque la ligne se fixe à l'extrémité du dernier brin ou scion.

Le troisième genre de cannes s'adresse aux pêcheurs discrets, comme on dit. Sa ressemblance avec la canne à promener dissimule les projets de l'amateur. Tous les brins, excepté le scion, sont évidés, de façon à leur permettre de rentrer les uns dans les autres. S'agit-il de pêcher? Les diverses pièces, vissées bout à bout, donnent une canne longue et résistante. Le perçage de ces brins présente plus d'une difficulté et exige plusieurs opérations. La première est le redressage, il se fait au feu ; la seconde dont le succès dépend en partie de la première est le perçage proprement dit ; il s'effectue au tour, à l'aide de mèches d'abord très-fines, qui vont en grossissant progressivement. Un ouvrier habile peut donner à une canne de cinq brins rentrants le volume du petit doigt.

Il est une autre canne qui exige peu de talent de la part de l'ouvrier, mais qui mérite d'être mentionnée à cause de la consommation considérable qui s'en fait ; c'est la canne en roseau de Fréjus ; redressé au feu, il mesure souvent près de 10 mètres. Enfin une canne de fabrication japonaise, que l'on a pu observer à l'Exposition, terminera cette énumération ; elle est formée par plusieurs pièces de bambou, rentrant les unes dans les autres, mais ajustées avec tant d'art que, en soufflant par l'extrémité de la plus grosse pièce, toutes les autres sont chassées et armées du même coup.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

En France, le prix des cannes à pêcher varie de 3 à 60 francs; en Angleterre, les chiffres sont plus élevés, à cause d'une plus grande élégance apportée à leur fabrication; c'est ainsi que souvent les embouts des lignes anglaises sont gravés et dorés.

Il est juste de signaler que dans certains départements, la Manche entre autres, des industriels se livrent avec talent à la construction de ces appareils; ce genre de commerce tend chaque jour à s'étendre davantage à mesure que nos rivières se repeuplent, grâce aux mesures restrictives de l'administration et aux éléments de repeuplement introduits par la pisciculture.

§ 2. — Lignes à pêcher.

Les lignes sont constituées ordinairement par plusieurs brins de soie, soumis à une torsion particulière pour les empêcher de *vriller* quand elles sont plongées dans l'eau. On doit rechercher dans une ligne la résistance et la finesse. Certains pêcheurs exigent qu'elle se termine en queue de rat.

En 1862, M. Montignac, exposant français, fut remarqué pour ses lignes qui, enduites d'un corps gras particulier, ne pouvaient ni vriller ni s'alourdir par l'absorption de l'eau, et qui étaient d'une conservation plus longue et plus facile. Aujourd'hui, ce procédé est imité généralement, et toutes les lignes de prix ont subi une préparation analogue. On trouve dans le commerce des lignes faites en crin tressé ou tordu; peu recherchées pour la pêche d'eau douce, elles sont fort estimées pour celle des côtes, car alors elles peuvent être lourdes; l'important est qu'elles soient résistantes. On peut admirer dans l'exposition norwégienne plusieurs nécessaires de pêche, garnis de lignes en crin. Dans cette contrée, où les loisirs sont trop nombreux pendant les longues soirées et où la main-d'œuvre est de peu de valeur, les amateurs fabriquent eux-mêmes leurs engins : ceux-ci ne peuvent, dès lors, être cotés comme objets de commerce.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les bouchons ou flotteurs, que la pêche d'eau douce fixe à ses lignes, n'offrent rien de particulier à signaler; ils varient à l'infini de forme et de dimension; certains amateurs leur préfèrent même une simple plume d'oie. La ligne d'eau douce se termine par un fil, long de 30 à 40 centimètres, transparent et très-résistant, auquel on fixe l'hameçon; c'est le *crin de Florence*, produit du ver à soie sacrifié au moment où il va filer. C'est d'Italie que nous viennent les meilleurs crins; ils se fabriquent principalement à Florence. Les pays qui ne font pas usage de ces vers à soie n'ont que des fils d'une très-faible résistance. Au Japon, par exemple, où on les obtient du bombyx du chêne, ils sont jaunes et cassants.

§ 3. — Moulinets.

Les moulinets sont des instruments qui servent à la pêche du saumon, de la truite et généralement de tous les poissons de grande dimension. Ils permettent de prendre, même avec une canne très-légère, des pièces d'un poids relativement considérable. Le moulinet se compose d'un petit cylindre de cuivre muni d'une manivelle qui le fait tourner à volonté; une roue dentée, pressant sur un ressort d'acier, fait entendre, chaque fois que le cylindre est mis en mouvement, une série de petits chocs qui appellent l'attention du pêcheur. Souvent, à l'aide d'un engrenage particulier, le nombre des tours du cylindre est multiplié par rapport à ceux de la manivelle; ces moulinets sont dits alors « multiplicateurs ». Cet instrument est fixé sur le brin le plus gros de la canne; la ligne, passée par la série d'anneaux que présente cette canne, est enroulée sur le cylindre, de sorte que quand le poisson est ferré, ses premiers efforts, qui sont les plus violents, portent, non sur la canne, mais sur le moulinet, au déroulement duquel on oppose une résistance calculée. Le poisson vient-il à se fatiguer, on enroule de nouveau la ligne; se débat-il vivement, on laisse filer un peu de soie, et ainsi de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

suite, jusqu'à ce que l'animal épuisé soit amené près du bord et pris à la gaffe ou à l'épuisette. Ces instruments, tirés presque entièrement de l'Angleterre, il y a quelques années, sont fabriqués en grande partie aujourd'hui à Paris, et même dans nos départements, où les rivières permettent la pêche de la truite.

Les moulinets français, bien que moins richement ornés que ceux des Anglais, présentent les mêmes qualités et ont le grand avantage d'être livrés à des prix plus modérés.

Les gaffes, les épuisettes, les paniers, les nécessaires de pêche complètent l'équipement de l'amateur. Ces objets sont fabriqués en général en France et livrés à l'exportation. Nos articles de vannerie sont surtout recherchés en Angleterre, à cause de la qualité des matières premières et de la perfection du travail.

§ 4. — Hameçons.

Les hameçons ne sont pas, du moins pour ceux qui servent à la pêche d'eau douce, de fabrication française ; ils nous sont fournis par la Grande-Bretagne. C'est à Redditch (Worcestershire) que se recontrent les fabriques d'aiguilles et d'hameçons. Les procédés de fabrication méritent d'être étudiés avec quelques détails.

Dans un ouvrage ayant pour titre « *Treatise on fishing with an Angle* », publié en 1496, l'auteur raconte qu'il faisait ses hameçons avec les meilleures aiguilles, et il indique le procédé qu'il employait pour les tremper. Ce procédé est en tout semblable à celui qui est encore mis en usage de nos jours.

Les bons hameçons sont faits avec des fils d'acier coupés à une longueur déterminée, soit à la cisaille, soit au ciseau à froid, suivant leur grosseur. Détrempés au feu et redressés, ces morceaux subissent l'opération de la barbe, qui consiste à faire une entaille à l'extrémité du fil. Ensuite on aplatit sur l'enclume l'autre extrémité en manière de palette, puis on fait la pointe, opération longue et délicate ; enfin on contourne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces fils pour leur donner la forme d'hameçon. Certaines courbes sont plus recherchées que d'autres ; par exemple la courbe Kirby est généralement très-estimée : elle permet à l'hameçon de supporter un poids considérable par rapport à ses petites dimensions. Après avoir trempé les hameçons, on procède au polissage, opération pour laquelle on a recours à la vapeur, à cause du temps qu'elle réclame. Ce n'est qu'en dernier lieu qu'on les bleuit, les bronze ou les étame, suivant la pêche à laquelle ils sont destinés ou le pays où ils doivent être livrés. Ainsi qu'on le voit, l'hameçon se fabrique entièrement à la main. Il exige, de la part de l'ouvrier, de l'intelligence, de la patience et de l'adresse, et, quoi qu'on ait fait jusqu'à ce jour, il n'a point été possible de remplacer dans cette fabrication le travail manuel par celui des machines.

Les dimensions des hameçons varient presque autant que la taille des poissons qu'ils sont destinés à prendre; ceux qui servent à la pêche de rivière mesurent de 1 à 6 centimètres; ceux qui sont réservés à la mer ont de 2 à 15 centimètres ; le prix varie de 3 à 10 francs le 100. Les plus soignés sont ceux que les pêcheurs emploient pour le saumon et le brochet; ils doivent offrir un petit volume pour être facilement happés, et une grande résistance pour supporter des poids considérables. Pour la pêche du brochet, on se sert souvent de deux ou trois hameçons réunis par un fil métallique. Pour l'anguille, l'hameçon a une courbe spéciale dite par les Anglais « houlette de berger. »

Les hameçons anglais sont expédiés dans le monde entier; la seule ville de Redditch, sans compter ses environs, en fournit à la consommation environ 200 millions par an. Plusieurs nations, cependant, commencent à produire leurs hameçons de mer. L'exposition norwégienne présente des hameçons étamés de bonne qualité, fabriqués à Bergen; de même, en France, les départements des Bouches-du-Rhône, des Côtes-du-Nord, de la Meurthe et du Nord fabriquent presque la totalité des hameçons consommés par nos marins.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 5. — Appâts artificiels.

Comme les appâts vivants ne sont pas toujours à la disposition du pêcheur et que la voracité des poissons est telle qu'ils engloutissent la proie d'un seul trait, l'industrie s'est appliquée à en fabriquer d'artificiels.

Les appâts artificiels représentent, d'une façon plus ou moins exacte, des poissons, des grenouilles, des vers, des insectes, etc.; le liége, le caoutchouc, les métaux, la soie, et surtout les plumes des oiseaux les plus rares sont utilisés dans cette fabrication. Tantôt l'hameçon, caché à l'intérieur de l'appât, se détend pour piquer le poisson dès que celui-ci a mordu, tantôt il est apparent, mais ne ferre le poisson que lorsque le pêcheur imprime à la canne une secousse vive et légère.

Les gros appâts servent surtout à la pêche du brochet; ceux qui conviennent aux truites et aux saumons sont les mouches artificielles, représentations plus ou moins fidèles des diptères. Ces mouches se font à l'aide des plus fines plumes d'oiseaux fixées autour de l'hameçon par un fil d'archal. Les véritables amateurs portent sur eux tout ce qui est nécessaire pour la fabrication de leurs appâts : arrivés sur le lieu de pêche, ils secouent une branche d'arbre, ramassent l'insecte ailé qui en tombe, et, séance tenante, le reproduisent avec une rare habileté. La vie des diptères étant ordinairement de très-courte durée, on comprend que, lorsque les pêcheurs ont acquis l'habitude d'imiter les insectes, ils trompent le poisson plus facilement que s'ils lui présentaient une mouche qu'il ne connaît pas ou qu'il a l'habitude de ne voir que dans une autre saison. Mais, quelle que soit la perfection avec laquelle les mouches sont imitées, si l'habileté de la main du pêcheur ne vient leur donner l'apparence de la vie en les faisant voltiger autour du poisson, ces appâts sont de nulle valeur.

Il y a quelques années, la France tirait de Redditch les mouches artificielles; aujourd'hui dans plusieurs de nos dé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

partements se sont établies des fabriques de ces objets; leurs produits figurent avec avantage à notre Exposition.

§ 6. — Appâts de mer. — Rogue.

A côté des appâts artificiels employés pour la pêche d'eau douce doivent se placer les appâts destinés à la capture des poissons de la mer.

On sait que la pêche de la sardine se fait à l'aide de filets en nappe tombant verticalement, l'un des côtés du filet étant garni de flotteurs. La sardine voyage par bandes innombrables; dès qu'elle a paru sur les côtes de l'Océan, les pêcheurs se transportent à sa rencontre, reconnaissent le lieu de pêche, mettent les filets à la mer et jettent la rogue. La sardine, très-friande, cherche à traverser le filet pour engloutir cet appât et reste prise par les ouïes.

Les éléments constitutifs de la rogue sont des œufs de morue, conservés par le sel. Cette préparation est achetée aux Norwégiens à des prix très-élevés. A l'effet d'affranchir l'industrie de la pêche de la sardine de ce tribut onéreux, on a tenté souvent de remplacer cette rogue par d'autres produits se conservant aussi facilement et excitant de même la voracité de la sardine. C'est vers ce but qu'ont porté les efforts des exposants français, MM. Brière, Moride, Peyron et Delidon; l'avenir seul peut établir la valeur de leurs préparations.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

FILETS DE PÊCHE.

§ 1. — Filets de mer et d'eau douce.

La pêche intéresse trop directement l'alimentation publique et la marine des peuples pour que le filet qui en est le principal instrument n'ait pas été l'objet d'études comparatives pleines d'instruction et d'enseignement. Toutes les nations ont tenu à envoyer à l'Exposition des spécimens de leurs filets. Les uns sont restés primitifs et semblables à ceux des premiers âges; les autres ont subi d'importantes modifications.

La Norwége, dont le produit des pêches s'élève annuellement à 50 millions de francs environ, présente la plus riche et la plus complète collection des filets employés à la pêche du hareng, du maquereau, de la morue et du saumon. Tous ces filets sont lacés à la main par les femmes, les enfants, les hommes même dans les trop longues heures de loisir que leur laisse le climat. Ils sont tannés à l'écorce de chêne, montés avec des flottes de verre et lestés avec des olives de terre cuite. Le lin, le chanvre, le coton sont les matières premières qui servent à leur confection. Le coton avait toujours été, jusqu'à ces dernières années, repoussé par les pêcheurs. Aujourd'hui, on admet généralement qu'il fournit des filets plus *pêchants*, parce qu'il permet d'employer des fils plus fins et qu'il retient mieux le poisson. Les filets de la Norwége se distinguent par la régularité des mailles et la ténacité des fils. Les pêcheurs savent, en effet, que les fils très-fins pêchent mieux; peu leur importent qu'ils résistent moins

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longtemps, si un seul coup de filet peut leur rapporter de quoi se procurer d'autres engins.

Dans l'exposition suédoise, on remarque surtout des filets d'eau douce. Ils sont très-ténus et de couleurs diverses, suivant le fond des lacs auxquels ils sont destinés. Les flotteurs le plus généralement employés sont les écorces de bouleau roulées en petits cylindres. Les pierres, les cornes d'animaux, les os même remplacent les plombs. Les filets danois, lacés à la main ainsi que les précédents, sont d'une excellente fabrication.

La France, l'Angleterre et l'Espagne seules ont exposé des filets fabriqués par des machines. Un seul métier fonctionne dans la galerie des machines françaises; nous reviendrons tout à l'heure sur l'importance de cet instrument.

Les besoins de la pêche allant toujours croissant, et la main-d'œuvre augmentant chaque jour en France, le travail des femmes et des enfants même ne suffirait plus à lacer la quantité de filets demandés par le marin. Aussi la routine ne devait-elle pas s'opposer longtemps à ce que les filets mécaniques fussent accueillis favorablement. Il y a environ dix ans que parurent ces premiers filets. Déjà aujourd'hui, les ateliers de laçage à la main tendent à disparaître. A peine, dans quelques années, en comptera-t-on encore quelques-uns. Ceux-là, comme l'atelier-école de Dieppe, seront sans doute à la fois des établissements de bienfaisance, où l'on recueillera les enfants des pêcheurs et où on leur enseignera à lire, à écrire, en même temps qu'à confectionner et à réparer les filets.

Il est impossible d'évaluer d'une manière précise l'importance de l'industrie des filets en France. Les documents suivants pourront cependant en donner une idée approximative. A Boulogne, l'un des ports de France où la pêche du hareng a le plus d'importance, il y avait, en 1865, 110 bateaux pour la grande pêche, consommant par an, pour le renouvellement périodique de leurs filets, 2 millions de mètres cou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rants d'alèze (cinquante mailles de largeur) d'une valeur totale d'environ 700,000 francs. A ce chiffre il faut encore ajouter 300,000 francs de warnettes, filets de plus petite maille et en fil plus fin pour la pêche sur la côte, ce qui porte à un million de francs la consommation annuelle des filets à Boulogne. Pour les autres centres de pêche du hareng, on n'a pas de données précises; cependant, d'après le *Moniteur* du 23 septembre 1865, 726 navires, jaugeant ensemble 21,000 tonneaux, ont été employés à cette pêche, dans l'année 1864, depuis Dunkerque jusqu'au Havre. En admettant que la consommation de filets soit proportionnelle au tonnage, on arrive au chiffre de 2,800,000 francs, comme valeur des filets employés.

La pêche de la sardine, qui se fait sur les côtes de l'ouest de la France, est aussi d'une importance capitale, puisque, d'une note insérée au *Moniteur* du 1er septembre 1866, il résulte que, dans les deux seuls ports de Concarneau et de Douarnenez, 884 bateaux se sont livrés à cette pêche et qu'ils ont rapporté un produit de 700,000 francs. On évalue à plus de 3,000, sur nos côtes, le nombre des bateaux à sardines. Chacun d'eux possède un assortiment de filets de différentes mailles employés suivant la grosseur du poisson. En supposant seulement par bateau seize filets, ayant une durée moyenne de quatre ans, ce qui est exagéré, on aurait 12,000 filets à 38 francs l'un, soit 456,000 francs dépensés annuellement pour la pêche de la sardine.

Il faudrait faire le même calcul pour la pêche du maquereau, des anchois, du thon et y ajouter la consommation des chaluts, des tramails, etc. Bornons-nous à dire que la situation de l'Empire (*Moniteur du 19 février* 1865) constate que, en 1863, l'industrie de la pêche a été exercée par 15,275 bateaux, jaugeant ensemble 78,068 tonneaux; or, n'évaluât-on qu'à 800 francs en moyenne la consommation des bateaux par an, il resterait un chiffre de 12 millions comme valeur de filets à produire annuellement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Notons en outre que la pêche d'eau douce, la sériciculture, l'arboriculture, la chasse, la mégisserie, la fabrication de la colle, etc., emploient une quantité notable de filets.

La fabrique la plus importante de filets à la mécanique, en France, est celle de MM. Broquant et Cie, à Dunkerque ; elle alimente presque entièrement la pêche du Nord. Cet établissement se compose d'une filature mécanique de 2,500 broches pour fils de pêche, et de 40 métiers à la main fabriquant environ 1,500,000 mètres de filets par an. Plus de 400 ouvriers trouvent leur salaire dans cette usine ; les enfants y reçoivent deux heures d'instruction. Les blessés sont soignés aux frais de la maison, et, cependant, ils continuent à toucher le prix de leur journée.

Dans la Grande-Bretagne, le nombre des fabriques de filets à la mécanique est beaucoup plus considérable. On peut citer celles de MM. Stuart, Lockart, Gundry, Hounsell, etc. La maison Stuart présente à l'Exposition un très-beau choix de filets pour toutes pêches, en chanvre et en coton. Ceux qui proviennent de la maison Hounsell sont tous en chanvre et à plus grosses mailles.

L'Espagne offrait, pour la première fois, à l'examen du Jury des filets à la mécanique. Bien que destinés à la seule pêche de la sardine, ils ont été, comme ceux de MM. Broquant et Stuart, particulièrement distingués. Les fils qui ont servi à leur confection sont d'une fermeté remarquable et les mailles de très-petite dimension. Ces produits font penser que le métier à la main qui les confectionne doit présenter une grande précision dans ses divers organes.

§ 2. — Machines à fabriquer les filets.

Tous les filets dont nous venons de parler sont le produit de machines à bras, et cependant, aucune Exposition, jusqu'à ce jour, n'avait offert le spectacle d'un métier en mouvement. Voulant éviter et craignant de tenter les imitateurs, peut-être

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

même les critiques, sur quelques points défectueux de leurs métiers, les inventeurs n'avaient point encore consenti à produire leur œuvre au grand jour.

MM. Jouannin et Cie, les premiers, ont exposé leur métier. Mû par la vapeur; une force de 1/4 de cheval suffit à le mettre en mouvement; au reste, on peut le faire fonctionner à la main. Il est difficile de donner en quelques lignes une idée de cette machine; mais on pourra se rendre compte de la façon dont elle lace les filets, quand on saura qu'elle travaille avec deux fils, que ses crochets prenant le premier de ces fils en font une boucle, et qu'une navette, portant le second, traverse cette boucle. Si l'on fait déduction du temps perdu par les arrêts dus au renouvellement des navettes, opération qui n'a pas encore pu être évitée, on trouve que, avec du fil n° 6 en 3 métrique, et pour des mailles de 25 millimètres de côté, cette machine donne, à l'heure, sur une largeur de 100 nœuds, 400 rangées, soit 10 mètres courants. Ce travail équivaut à celui de 30 ouvriers à la main. Le laçage est fait en travers de l'alèze, c'est-à-dire dans le sens contraire à celui des métiers à bras, qui lacent en long. On a souvent reproché à cette machine de dérouter ainsi les marins, lorsqu'ils veulent réparer les filets; cette objection nous paraît de peu de valeur, et nous verrons tout à l'heure que la qualité de ces filets n'en est pas moins fort estimée.

Chacun sait que Jacquart fut le premier inventeur de la machine à fabriquer les filets, pour laquelle il prit un brevet (le 13 décembre 1805). Le métier était, sans doute, très-imparfait, puisqu'il a été abandonné. Au reste, les dessins et la description qu'il a laissés au Conservatoire des arts et métiers sont tellement obscurs, qu'il est à peu près impossible de comprendre le projet de l'illustre mécanicien. Depuis cette époque jusqu'au 7 février 1867, on ne compte, dans cet espace de soixante-deux années, pas moins de 40 brevets pris par vingt-neuf inventeurs différents. En parcourant cette longue liste et l'objet des brevets, on voit que les machines d'aujour-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'hui sont un peu l'œuvre de chacun d'eux, et que ces ingénieuses conceptions sont le produit de bien des intelligences. Cependant les métiers à filets peuvent se diviser en deux classes distinctes, puisque les uns fonctionnent avec deux fils, les autres avec un seul.

Un métier que Buron présenta à l'Exposition de 1806, fut déposé au Conservatoire. Il ressort de son inspection qu'à son inventeur revient l'idée du laçage des filets au moyen de deux séries de fils dont les uns, ceux de la série horizontale ou trame, vont se nouer alternativement à droite et à gauche avec leurs voisins de la série verticale ou chaîne. C'est ce métier qui, après avoir subi de nombreux perfectionnements de la part de Pecqueur (dernier brevet, 6 septembre 1851), fut le point de départ de celui de MM. Jouannin et C^ie^. Il serait trop long d'énumérer ici toutes les modifications qu'ils ont dû lui faire subir pour l'amener à fonctionner par la vapeur.

En Angleterre, c'est à James Patterson que remonte la première patente, 27 juillet 1835, pour une machine à fabriquer les filets. Le caractère distinctif de ce métier était qu'il fonctionnait avec un seul fil au moyen de pédales et autres engins que l'ouvrier faisait mouvoir avec les pieds et les mains, en développant une grande force musculaire. Ce système devait subir de nombreux perfectionnements de la part des mécaniciens anglais et français, avant de donner les métiers de MM. Stuart et Lockart en Écosse, et celui de M. Broquant en France. Aucun de ceux-ci jusqu'à présent n'a pu fonctionner à la vapeur. Il ressort de cette étude que MM. Jouannin et C^ie^ ont apporté à l'industrie des pêches les éléments d'un développement considérable en lui offrant un métier à filet que la vapeur met en mouvement. Il nous reste à apprécier la valeur des filets Jouanni. Nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici les lignes suivantes extraites du Rapport sur l'Exposition récente de Boulogne.

« Les filets fabriqués par ce métier ont fait l'objet de nos « plus grandes observations; à plusieurs reprises, entourés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« des délégués de nos quartiers maritimes et de nombreux « pêcheurs et armateurs, nous avons examiné ces engins avec « l'attention la plus minutieuse, et je dois dire que tous les « pêcheurs les ont trouvés irréprochables : leurs mailles sont « régulières ; le fil se lace avec le nœud employé dans les « filets faits à la main. Plusieurs fois le filet a été coupé et « déchiré dans plusieurs endroits, et les mailles pouvaient « toujours être reprises avec autant de facilité que dans les « filets lacés à la main. Ce métier confectionne les filets avec « une lisière à boucles sur chaque côté, ce qui est plus soigné, « et les pêcheurs préfèrent ces deux lisières, avec lesquelles « ils pourront plus facilement réunir leurs alèzes, pour former « leurs grands filets destinés à la pêche du hareng.

« Le laçage est fait en travers de l'alèze, c'est-à-dire dans « le sens contraire de celui fait par les métiers à bras, qui « lacent la maille en long. Il résulte de ce fait, suivant les « pêcheurs, que les mailles du filet Jouannin sont toujours « ouvertes plus également quand il tombe à la mer. En « Hollande, où l'industrie de la pêche est poussée si loin, « tous les filets sont montés de cette façon.

« Les organes du métier Jouannin travaillent avec une « précision si remarquable, que le fil n'est jamais éraillé : le « nœud de la maille n'est pas non plus trop serré, ce qui est « considéré comme un avantage pour l'opération du tannage ; « le liquide peut alors s'infiltrer partout et imbiber les fils du « nœud. Ce nouveau métier peut fabriquer des filets de mailles « de toute grandeur, avec du fil de toute grosseur.

Ces paroles sont de M. Ducrès de Villeneuve ; elles ne nous laissent rien à ajouter, si ce n'est qu'elles sont encore l'expression de la vérité sur les travaux de M. Jouannin.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE PISCICULTURE FLUVIALE

PAR M. COUMES.

La pisciculture fluviale a été représentée, pour la première fois, à l'Exposition universelle de 1867, par un ensemble de produits sérieux. Elle s'y est révélée sous un jour nouveau, en y exhibant tout à la fois son matériel et ses procédés les plus perfectionnés, ainsi que les résultats obtenus dans divers pays. Bien que pratiquée avec succès chez plusieurs peuples de l'antiquité et du moyen âge, cette branche d'industrie, susceptible de rendre de grands services à l'alimentation publique, était demeurée à peu près stationnaire jusqu'à ces dernières années, où l'application de méthodes scientifiques lui a fait faire un pas décisif. L'Exposition de 1855 nous avait à peine initiés à la construction des échelles à saumons qui devaient amener une révolution dans le mode de peuplement de certaines rivières de l'Irlande et de l'Ecosse. L'Exposition de 1862 n'avait rien montré de remarquable relativement à la pisciculture.

En 1867, au contraire, la France, la Grande-Bretagne et le royaume de Suède et Norwége ont fait connaître, par l'intermédiaire de leurs administrations publiques, de quelques associations et de plusieurs exposants particuliers, les efforts développés pour répandre les nouvelles doctrines de la conservation et de la reproduction du poisson d'eau douce.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Parmi les exposants, il y a lieu de distinguer au premier rang l'Administration française des Ponts et Chaussées, à laquelle on doit la création de l'établissement de pisculture de Huningue ; le Bureau des Travaux Publics d'Irlande, qui a fourni les plans des échelles à poissons construites sous sa direction ; les associations de Suède et Norwége, qui, avec le concours du gouvernement, ont repeuplé plusieurs rivières.

§ 1. — Pisciculture fluviale en général.

Pour tracer avec méthode les progrès réalisés dans la *pisciculture fluviale*, la seule dont il soit ici question, il est essentiel de rappeler que ces progrès sont dus surtout à des procédés de deux ordres distincts qui ont laissé bien loin derrière eux les traditions d'une pratique peu éclairée. Les uns, pénétrant, en quelque sorte, les mystères de la création, donnent la vie au poisson par la fécondation artificielle, et assurent ensuite son développement au moyen d'un outillage spécial pour l'incubation et l'éclosion des œufs ; les autres, perfectionnant les moyens de transport des œufs fécondés et des poissons vivants, ont permis de résoudre des problèmes très-délicats d'acclimatation ; d'autres enfin, procurant aux poissons voyageurs les moyens de libre locomotion dans les cours d'eau interceptés par des obstacles naturels ou des barrages, ont favorisé singulièrement leur reproduction.

Ces branches diverses vont être l'objet d'un examen sommaire.

La *fécondation artificielle*, qui s'effectue de main d'homme, sans le secours d'aucun appareil particulier, a été représentée, en 1867, au moyen de dessins photographiques exposés par l'établissement gouvernemental de Huningue, qui opère tous les ans sur des masses considérables d'œufs de la famille des salmonidés, et les distribue gratis, à titre d'encouragement, pour peupler les rivières propres à ces espèces les plus estimées des eaux douces. Cette découverte, faite au siècle der-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nier dans le Hanovre, puis oubliée, et remise à jour en France, il y a vingt-cinq ans, par un humble pêcheur des Vosges, est entrée définitivement dans la pratique depuis quinze ans seulement, et se trouve appliquée maintenant dans tous les pays.

Les *appareils d'incubation et d'éclosion* des œufs fécondés ont passé par plusieurs phases avant d'atteindre leur perfection actuelle. A la simple boîte grillée dans laquelle l'inventeur Jacobi déposait primitivement les œufs sur le fond d'un cours d'eau, ont succédé d'abord divers appareils dérivés du même principe, et plus ou moins bien appropriés à leur destination, comme en a exposé la Norwége ; mais le plus rationnel et le plus commode de ces appareils est celui imaginé par le savant académicien qui, de nos jours, a introduit dans la pisciculture des améliorations capitales. Cet appareil se prête aux exploitations modestes, comme aux plus considérables en multipliant ses éléments, ainsi qu'aux expériences délicates des laboratoires, et permet de suivre le développement successif des œufs jusqu'à leur éclosion, sans les déplacer et en les soustrayant à toutes les mauvaises influences. Il figure dans les montres de plusieurs exposants, tantôt en métal léger, tantôt en poterie, tantôt en bois ; il est entré dans la fabrication courante, et le modèle le plus répandu est celui qui est propagé par le laboratoire du collége de France, ainsi que par l'établissement de Huningue, dont les échantillons ont été exposés.

Les *moyens de transporter des œufs fécondés* à de grandes distances par plusieurs modes d'emballage, en conservant la vitalité des œufs, ont été appliqués pour la première fois dans de vastes proportions, par l'établissement de Huningue. Cet établissement a exposé les divers systèmes en usage, desquels il résulte une simplification considérable, sous le rapport de la dépense, dans les peuplements par la fécondation artificielle et les moyens de triompher des obstacles inhérents à la durée du trajet et aux variations atmosphériques. En com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

binant ces procédés avec l'emploi de la glace comme enveloppe ralentissant l'expansion de la vitalité, l'on est parvenu à vaincre les difficultés d'acclimatation des salmonidés dans les pays les plus lointains.

C'est ainsi qu'en 1864, d'habiles pisciculteurs anglais ont pu faire parvenir en Australie, après plusieurs essais, des œufs fécondés de saumon et de truite, contenus dans des boîtes placées dans des glacières qu'on avait installées à bord des vaisseaux; on fit éclore ces œufs à leur arrivée, après un voyage de trois mois, et on obtint de jeunes poissons qui furent déposés dans des rivières, où ils ont grandi, et ont déjà accompli leur première migration à la mer, à la suite de laquelle ils se reproduiront naturellement, créant ainsi dans ces colonies des richesses alimentaires nouvelles.

Les *appareils de transport des poissons vivants* ont été bien perfectionnés depuis peu d'années, principalement par l'établissement de Huningue, qui s'est livré à de nombreuses expériences, avant d'adopter définitivement les modèles qu'il a exposés en 1867. C'est en renouvelant l'air contenu dans l'eau, à l'aide d'injecteurs d'un système simple et économique, que l'on parvient à faire voyager, sans mortalité sensible, des poissons placés dans de petits récipients.

Les transports faits à plusieurs reprises, sous la conduite des agents de l'établissement de Huningue et du service de la navigation de la Loire, pour entretenir, pendant la durée de l'Exposition, l'approvisionnement de l'aquarium d'eau douce en poissons de grande taille venant des régions de l'est et de l'ouest de la France, ainsi que de la Suisse et de l'Allemagne, ont mis en évidence la supériorité des appareils dont il s'agit.

§ 2. — Plans et modèles d'établissements de pisciculture artificielle.

L'Exposition de 1867 a fait ressortir par les modèles présentés, les tentatives fructueuses faites, en France, en Suède et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en Norwége, pour l'application de la pisciculture artificielle au peuplement des lacs, des étangs et des cours d'eau. En première ligne on doit citer, indépendamment des appareils de détail déjà décrits, les photographies qui représentent l'ensemble de l'établissement français de Huningue, lequel fonctionne aujourd'hui avec la régularité et la précision d'une manufacture. On a pu remarquer aussi des modèles en relief d'établissements fondés en Suède et en Norwége pour peupler des rivières, ainsi que les dessins de diverses petites installations pour des peuplements locaux en France. Malheureusement, les exposants dans cette partie sont peu nombreux, et l'on a eu le regret de ne pas voir figurer à l'Exposition de 1867 des établissements qui ont acquis de la célébrité, tels que celui de Stormontfield, près de Perth en Ecosse, et d'autres, qui ont été fondés avec succès : à Londres, au jardin zoologique; en Prusse, par la Société de Crefeld; en Belgique, au jardin botanique de Bruxelles; en Hollande, par la Société du jardin d'acclimatation d'Amsterdam, et dans plusieurs autres pays. Tous ont pris modèle sur l'établissement de Huningue, dont ils reproduisent plus ou moins les dispositions essentielles.

Aquariums d'eau douce. — Les aquariums sont devenus aujourd'hui les auxiliaires indispensables de la pisciculture pratique et de la science pure; ils permettent d'étudier la croissance et les habitudes des poissons et de pénétrer dans l'intimité de leur vie. Si plusieurs exposants ont présenté des modèles de petites dimensions propres à figurer dans des serres ou des appartements, et pleins d'intérêt par la combinaison des abris rocailleux et des plantes aquatiques, l'on doit au concours éclairé du Ministère français de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, la construction du vaste aquarium d'eau douce, dont les proportions et les aménagements ont dépassé tout ce qui avait été exécuté auparavant dans ce genre, et qui a charmé les visiteurs par ses dispositions simples, économiques et bien appropriées à leur objet. On a pu placer

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi sous les yeux du public des spécimens remarquables de toutes les espèces habitant les lacs, les étangs et les rivières. La forme de grotte en maçonnerie était justifiée d'ailleurs par la nécessité de maintenir dans les bancs une température modérée pendant l'été, et de fournir aux poissons les refuges qui leur conviennent.

§ 3. — Échelles à poissons.

Les échelles à poissons, inventées en Écosse il y a trente ans, ont pour but de procurer aux poissons voyageurs, et principalement à ceux de la famille des salmonidés, la liberté de locomotion qui leur est indispensable pour se reproduire dans les sommités des cours d'eau, en franchissant, à des époques périodiques, les chutes et les barrages. Les échelles concilient, de la manière la plus heureuse, les besoins naturels de la reproduction de ces espèces estimées, avec les intérêts de l'industrie et de l'agriculture. En effet, pour que les poissons puissent monter dans les échelles, il suffit d'y dériver dans la saison du frai, un faible volume d'eau dont la privation ne saurait porter un préjudice notable ni aux usines ni aux irrigations, à une époque de l'année où le débit des rivières est assez abondant.

Déjà, en 1855, la Grande-Bretagne avait envoyé à Paris des modèles de quelques échelles fonctionnant plus ou moins bien, et qui servirent de point de départ aux essais faits en France sur plusieurs rivières.

L'Exposition de 1862 n'a montré aucun appareil de cette sorte. Mais, en 1867, la Grande-Bretagne, la France, la Suède et la Norwége, les seuls pays où jusqu'à présent ces ouvrages aient été construits, ont présenté des spécimens d'un grand intérêt.

Le Bureau des Travaux publics d'Irlande, chargé de contrôler la construction des échelles à poissons, a exhibé les modèles recommandés par les commissaires des pêcheries, et dont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'application a donné les résultats les plus merveilleux, en favorisant le peuplement de cours d'eau dans lesquels les saumons n'avaient jamais pu pénétrer auparavant, ou dont ils avaient été expulsés par les barrages usiniers. La pêcherie de Ballysadore, près de Sligo, au nord de l'Irlande, celle de Galway, à l'ouest du même pays, et une foule d'autres, ont pris un développement considérable, depuis que les échelles à saumons y ont été appliquées.

La Suède a exposé une échelle construite entièrement sur le modèle de celles de l'Irlande, et qui a eu un plein succès. La France, enfin, a montré le modèle d'une échelle qui fonctionne bien sur la Vienne, à Chatellerault.

Les perfectionnements apportés pendant les dernières années dans la construction des échelles sont dus à des études et à des observations qui ont prouvé aux hommes de l'art que la condition capitale de la réussite est de placer le pied de l'échelle à l'endroit où l'instinct du saumon le pousse à essayer de franchir le barrage, et où l'entrée de l'échelle demeure aisément accessible en toute saison.

Parmi les divers systèmes essayés ou projetés, l'expérience a fait voir que le type de coursier incliné avec cloisons transversales pourvues d'orifices alternants à leurs extrémités, convenait le mieux aux poissons. On peut donc dire que dès à présent la science a dit à peu près son dernier mot sur ces utiles auxiliaires de la pisciculture.

L'application simultanée des échelles et de la fécondation artificielle peut aboutir en peu de temps aux résultats les plus étonnants, comme le prouve surtout l'exemple de la pêcherie de Galway qui a décuplé de valeur dans une période de seize années. Aussi, les lois de la Grande-Bretagne ont-elles posé des règles touchant l'exécution des échelles; et c'est ce qui a engagé le gouvernement français à publier, en 1865, une loi déterminant les conditions d'établissement de ces ouvrages sur nos cours d'eau.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III

APPAREILS PLONGEURS ET SCAPHANDRES

PAR M. LE DOCTEUR A. GILLET DE GRANDMONT.

§ 1. — Considérations générales.

Les appareils plongeurs qui, dans la classification générale de l'Exposition, faisaient partie du matériel de sauvetage, ont été, à cause des services qu'ils rendent à la pêche, et principalement à celle des coraux, des éponges et des perles, renvoyés à la classe 49. Toutefois, la pêche n'utilise pas seule ces appareils : le génie maritime les emploie dans la construction des ponts et des digues, et généralement dans tous les travaux hydrauliques; de même, la marine trouve dans leur usage un moyen facile de surveiller et d'entretenir l'hélice, le gouvernail, l'éperon, les plaques de blindage de ses navires, organes auxquels les progrès de la construction navale donnent chaque jour plus d'importance. Depuis la cloche qu'un ingénieur anglais appliqua le premier aux travaux sous-marins, l'industrie des plongeurs a fait des progrès considérables ; nous allons les esquisser rapidement en faisant ressortir, surtout, ceux qui se sont produits depuis les Expositions de 1855 et de 1862.

De tout temps et dans tous les pays, des hommes robustes, nageurs intrépides, se sont efforcés de plonger jusqu'au fond de la mer. De ces explorations ils ont rapporté la connaissance des coraux, des éponges et des perles, et se sont faits plon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

geurs pour exploiter ces richesses. Mais le séjour sous l'eau est extrêmement limité pour les organes de l'homme. Une ou deux minutes sont le temps maximum pendant lequel les plongeurs peuvent retenir leur respiration. Or, si l'on songe qu'il faut, pendant ce court espace de temps, descendre à des profondeurs toujours considérables et remonter à la surface de l'eau, on est convaincu que la durée du travail sous-marin est bornée à quelques secondes.

Indépendamment du besoin de respirer qui empêche l'homme de séjourner sous l'eau, il est des phénomènes de compression qui peuvent causer sur ses organes les accidents les plus graves. On doit nécessairement en tenir compte lorsqu'on étudie les conditions à remplir pour conserver la vie du plongeur ; prenons un exemple. La récolte des coraux et des éponges se fait à des profondeurs rarement inférieures à 15 mètres; or, on sait que la pression atmosphérique est sensiblement égale au poids d'une colonne d'eau de 10 mètres. De cette donnée il résulte que le plongeur supporte, lorsqu'il est descendu à 15 mètres, une pression égale à une atmosphère et demie, augmentée de la pression atmosphérique, soit en tout deux atmosphères et demie. Cette pression représente déjà un poids considérable ; mais si le plongeur descend à une profondeur beaucoup plus grande, les parois thoraciques et abdominales sont fortement comprimées, les organes internes refoulés, la circulation superficielle interrompue, et la vie est, dès lors, compromise. Si, au contraire, le plongeur remonte à la surface, la pression qu'il supporte diminue, et cela d'autant plus ou moins rapidement, qu'il s'élève moins ou plus lentement. Ces perpétuelles variations de pression ont des effets désastreux sur l'économie : le sang reflue brusquement de la surface du corps aux organes internes, et bientôt des parties profondes aux régions superficielles. Les vaisseaux capillaires, peu habitués à ces contractions et dilatations brutales, se rompent souvent; aussi n'est-il pas rare de voir le sang s'échapper du nez et des oreilles des plongeurs, même les plus expérimentés. Ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

accidents sont d'autant plus fréquents que le plongeur descend plus souvent et à de plus grandes profondeurs. C'est pourquoi à la pêche des perles qui se fait par 30 et 40 mètres, un plongeur, même des plus expérimentés, ne peut descendre plus de sept à huit fois par jour.

Il y a donc deux conditions à remplir pour permettre à l'homme de séjourner sous l'eau sans danger : la première est de lui faire parvenir de l'air respirable ; la seconde, de contrebalancer la pression qu'il subit à l'extérieur de son corps, et principalement sur la poitrine, par une pression interne sensiblement égale. Une seule combinaison permet de satisfaire à ces deux conditions : c'est celle qui consiste à faire pénétrer dans les voies respiratoires de l'air ayant acquis, par la compression, une force élastique capable de faire équilibre aux pressions extérieures que le plongeur supporte. Un pêcheur descendu, par exemple, à une profondeur de 10 mètres, et supportant, par conséquent, une pression de deux atmosphères devra recevoir de l'air à la pression de deux atmosphères.

On a cherché à remplir ces conditions successivement, avec la cloche à plongeur, les scaphandres, et autres appareils. En 1702, le célèbre astronome anglais Halley construisit la première cloche à plongeur; à l'aide de son appareil, il fit, dit-on, des explorations dans la Manche jusqu'à la profondeur de 15 mètres; plus tard, vers 1780, l'ingénieur Smeaton appliqua la cloche modifiée par lui à la construction du phare d'Eddystone, à l'entrée du canal de la Manche. En France ce ne fut qu'en 1820 que Cachin, inspecteur général des ponts et chaussées, fit la première application d'une cloche à plongeur de son invention aux travaux de la digue de Cherbourg, pour achever le port de cette ville ouvert à l'Océan depuis le mois d'août 1813.

On sait que la cloche à plongeur ressemble à une ruche en fonte, percée, à sa partie supérieure, d'orifices, les uns recouverts par des glaces d'une grande résistance, les autres mis en communication avec des tuyaux permettant l'introduction

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de l'air comprimé. A l'aide de cet appareil, les travaux sont exécutés par des hommes, au nombre de quatre à huit, qui s'établissent sur un banc circulaire. En même temps que la cloche descend, une pompe foulante envoie l'air comprimé à une pression variant suivant la profondeur à laquelle les plongeurs se trouvent.

On reproche surtout à cet appareil de limiter à un petit espace le travail des ouvriers et de déterminer, sous l'influence des coups de piston de la pompe foulante, des maux de tête et des bourdonnements d'oreilles qui peuvent conduire à la surdité; cet instrument, tout à fait primitif, est presque entièrement abandonné aujourd'hui.

Il est à peu près impossible d'établir à qui revient l'honneur de l'invention du scaphandre, sorte de vêtement imperméable, clos partout, dans lequel le corps du plongeur est entouré d'une couche d'air supportant une pression calculée sur la profondeur à laquelle le marin est descendu; toujours est-il que les ouvrages scientifiques de la fin du dix-huitième siècle donnent déjà des descriptions du scaphandre.

A leur origine, ces appareils étaient tellement imparfaits que la vie du plongeur était presque sans cesse en danger : l'air arrivant, ou trop rare ou trop abondant, occasionnait des troubles graves dans la circulation du sang, et déterminait le plus souvent des hémorragies. Plus d'un pêcheur courageux a perdu la vie dans ses explorations aventureuses.

§ 2. — Appareils divers perfectionnés.

Le premier appareil perfectionné semble devoir être attribué à M. Siebe, de Londres (1829); aussi ce constructeur conservait-il jusqu'en 1857 le titre de fournisseur de la marine française, tandis que M. Delange, ayant perfectionné les appareils anglais, exécutait pour le corps des Ponts et chaussées des travaux hydrauliques d'une certaine importance. Toutefois il appartenait à M. Cabirol non-seulement d'introduire dans ces

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

appareils des modifications utiles, mais encore de vulgariser l'emploi du scaphandre dans le monde entier; et il est juste de dire que l'honneur revient à M. Cabirol d'avoir participé, depuis près de quinze ans, à tous les travaux sous-marins exécutés en France. A l'Exposition de 1862 les perfectionnements qu'il avait apportés à ses appareils, à la pompe destinée à comprimer l'air, lui valurent une distinction.

Pendant de longues années, le scaphandre fut considéré comme le *nec plus ultrà* de ce que pouvait offrir l'industrie pour satisfaire, à la fois, l'hygiène et la pratique des travaux sous-marins.

L'air plus ou moins comprimé parvenait dans le casque, et de là se répandait dans le vêtement imperméable. L'excédant de l'air s'échappait par un orifice dont l'ouverture pouvait varier à la volonté du plongeur. Une corde sans cesse agitée, et par le plongeur, et par un homme préposé à sa garde, servait, par des signaux convenus, à faire connaître l'état du plongeur et ses besoins.

M. Messager, observant avec raison que, lorsque la vie du plongeur est compromise, on ne saurait trop rapidement le faire monter à la surface, a imaginé d'entourer le cou du plongeur d'un réservoir communiquant avec l'intérieur du casque; les parois de ce réservoir sont maintenues affaissées au moyen d'un poids dont, à sa volonté, le plongeur peut se débarrasser très-rapidement. Qu'un danger le menace, il rejette le poids, sa collerette se gonfle sous l'influence de l'air qui s'échappe du casque, et le plongeur est ainsi entouré d'une bouée qui le ramène instantanément à la surface de l'eau. L'utilité de cet appareil, qui semble bien démontrée dans certaines circonstances, devient très-problématique lorsque le danger que court le plongeur provient du manque d'air; car alors l'air, déjà trop peu abondant, se raréfie encore en augmentant de volume.

Cependant, MM. Bouquayrol, ingénieur des mines, et Denayrouze, officier de marine, préoccupés des inconvénients qu'il y a à laisser le plongeur sous la dépendance des hommes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

préposés au service des pompes, cherchèrent à rendre impossibles, par une modification de l'appareil, les variations intempestives de pression.

Reprenant la suite des expériences faites à Breslau par Klingert (1797), et en France, par le docteur Mhurr, ils arrivèrent à construire (1865) une sorte de réservoir portatif d'air fortement comprimé, qui débite, au fur et à mesure des besoins du plongeur, de l'air exactement doué de la force élastique nécessaire à combattre la pression exercée sur les parois de la poitrine. Cet appareil consiste en deux petits cylindres en fonte superposés, et ne communiquant entre eux que par une soupape très-petite, fermant de bas en haut. L'air comprimé, chassé par la pompe, arrive dans le cylindre inférieur et maintient la soupape close. Le second cylindre est dépourvu à sa partie supérieure, de cloison solide, celle-ci étant remplacée par une membrane de caoutchouc tendue à la façon d'une peau de tambour; du centre de cette membrane, descend une tige rigide qui repose sur la petite soupape de communication; le moindre affaissement de la paroi de caoutchouc abaisse la tige, entr'ouvre la soupape, et laisse pénétrer l'air dans le cylindre supérieur.

C'est dans ce cylindre que le plongeur, à l'aide d'un tube qu'il porte constamment dans la bouche, aspire l'air qui lui est nécessaire; sous le plus faible effort des poumons, la cloison de caoutchouc est abaissée, et l'air arrive aux organes respiratoires. Suivant que l'aspiration est plus forte et plus longue, l'air se précipite plus comprimé et plus abondant dans cet appareil. Le poumon règle donc lui-même la pression à laquelle l'air doit lui être envoyé. L'expiration se fait dans le tube même qui a servi à l'aspiration; mais l'air vicié s'échappe par une soupape de caoutchouc rappelant par sa forme l'anche des instruments de musique, et que la pression de l'eau maintient fermée pendant l'aspiration. L'emploi de ces appareils ne nécessite aucun vêtement; porté sur le dos, le réservoir d'air permet de plonger avec ou sans costume. Chaque

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fois que la température et les conditions du milieu permettront de plonger à nu, les difficultés des travaux sous-marins seront notablement diminuées par la liberté des mouvements laissée aux travailleurs.

Le vêtement offre non-seulement une enveloppe protectrice contre le froid et l'action du milieu sur les organes délicats, tels que l'œil, l'oreille, etc. ; il donne encore aux plongeurs la faculté de remonter à la surface, sans secours étranger. Si, en effet, le marin rejette dans son vêtement, par l'expiration nasale, au lieu de le faire par la soupape de caoutchouc, l'air de ses poumons, le vêtement se gonfle, il allége ainsi le poids du plongeur et tend à faire remonter ce dernier. Ce phénomène permet aux ouvriers de venir s'appliquer contre les parties rentrantes des navires, soit pour le nettoyage des carènes, soit pour les réparations d'avaries. Pour redescendre, il suffit de laisser échapper par un orifice spécial l'air contenu dans le vêtement.

MM. Rouquayrol et Denayrouze ont aussi, les premiers, remplacé aux pompes les bras de l'homme par le cheval-vapeur : or, comme les pompes, quelque bien ajustées qu'elles soient, laissent toujours perdre une portion de l'air qu'elles compriment, lorsque la pression devient très-considérable, ils ont fait subir à la disposition ordinaire de ces instruments une modification des plus ingénieuses. Voici en quoi elle consiste : le piston est fixé au sol par sa tige, tandis que le corps de pompe est mobile. Cette disposition nouvelle permet de recouvrir d'une couche d'eau le piston et la soupape du chapeau du corps de pompe ; ce liquide donne un joint hydraulique supprimant tout espace nuisible, et facilite la compression de l'air en lui enlevant une portion de son calorique.

Ces appareils ont déjà rendu de grands services à la marine et aux ponts et chaussées ; mais leur emploi doit tendre à se généraliser davantage encore, non-seulement, à cause de la facilité avec laquelle la personne la plus inexpérimentée et la plus délicate peut, sans le moindre danger, descendre sous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'eau, ainsi que cela a été surabondamment démontré pendant toute la durée de l'Exposition par des expériences journalières, mais encore à cause de leur prix relativement très-modique.

Pour éclairer les plongeurs lorsqu'ils travaillent à de grandes profondeurs, on a imaginé les lampes sous-marines; ces appareils, d'une utilité incontestable, ont été l'objet d'études sérieuses de la part des constructeurs. M. Cabirol a su rendre pratique l'usage de ces lampes, en les enfermant dans un globe de verre, au centre duquel il renouvelle sans cesse l'air au moyen d'un tube d'aspiration. Cet engin donne une belle lumière.

MM. Rouquayrol et Denayrouze ont tenté d'appliquer à l'éclairage de la mer la lumière produite par la combustion des cônes de charbon, sous l'influence d'un courant électrique très-puissant. Ils ont eu recours, pour obtenir une lumière constante, à l'ingénieux régulateur de M. Serrin; les expériences d'éclairage faites à l'aide de cette lampe électrique ont donné jusqu'à ce jour d'excellents résultats.

Il est impossible de représenter par des chiffres l'importance du commerce résultant de la vente des appareils plongeurs; mais on peut dire que, fabriqués principalement en Europe, ils s'exportent dans le monde entier.

Enfin, il ressort de cette exposition que, dans la fabrication des appareils plongeurs, la France a acquis une supériorité marquée sur les autres nations.

§ 3. — Appareils respiratoires.

Un appareil respiratoire de sauvetage ne se rattachant en aucune façon à la pêche avait été réuni aux appareils plongeurs de la classe 49.

Cet appareil, qui est de M. Galibert, a pour but de permettre de séjourner sans danger, pendant un certain temps, dans un milieu irrespirable ou asphyxiant : il se compose d'un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sac très-portatif contenant environ 100 litres d'air. Un double tube, partant de deux points différents de ce réservoir, arrive à une embouchure ovalaire qui couvre les lèvres, et est retenu par les dents.

Pour se servir de cet appareil, on le gonfle à l'aide d'un soufflet d'une simplicité primitive. Deux minutes suffisent à cette opération. Le réservoir est maintenu sur le dos par deux bretelles ; l'embouchure est fixée dans les dents. Un pince-nez clot les narines, et une paire de lunettes à verres bombés et bordés de cuir est posée sur les yeux. Le sauveteur aspire et expire par le même tube, de sorte que l'air dont il dispose se vicie peu à peu ; toutefois, si l'on tient compte des données physiologiques suivantes : savoir que l'inspiration moyenne introduit dans le poumon un demi-litre d'air environ, qu'on expire à peu près dix-huit fois par minute, qu'à chaque expiration l'air rendu n'a perdu qu'un cinquième de son oxygène, on voit que, lorsque les cent litres d'air pur ont été respirés, il en reste encore environ quatre-vingts respirables, et ainsi de suite en diminuant toujours d'un cinquième ; et, n'était la proportion d'acide carbonique qui augmente de plus en plus, l'air des dernières inspirations serait aussi pur que celui des premières. En résumé, ces 100 litres d'air suffisent à entretenir la vie du sauveteur sans souffrance et sans danger, pendant vingt minutes, temps relativement très-long, lorsque la vie d'une personne est menacée.

Ces appareils, d'un prix modique, d'un petit volume, d'un poids peu considérable, conviennent dans les incendies, dans le curage des fosses d'aisance, dans les mines, et, d'une façon générale, chaque fois qu'il s'agit de pénétrer dans une atmosphère toxique ou asphyxiante.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 50

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES USINES AGRICOLES ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES.

SOMMAIRE :

Section I. — Outillage pour la fabrication du sucre de betterave, par M. le baron THÉNARD, membre de l'Institut.

Section II. — Pétrisseurs mécaniques, par M. LEBAUDY, constructeur-mécanicien.

Section III. — Matériel de la chocolaterie, par M. le baron THÉNARD.

Section IV. — Fabrication de la glace, par M. Arnould THÉNARD, attaché à la Commission Impériale de 1862.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 50

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES USINES AGRICOLES ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES.

SECTION I

OUTILLAGE POUR LA FABRICATION DU SUCRE DE BETTERAVE

PAR LE BARON THÉNARD.

INTRODUCTION.

Il y a soixante ans, quand, dans un accès d'ironique gaieté, notre implacable ennemie, aujourd'hui notre plus désirable alliée, peignait un de ses insulaires, sur les bords du détroit, jetant dédaigneusement une betterave vers la France, en disant : *Va te faire sucre*, elle ne savait certainement pas si bien prophétiser.

Fille de la Prusse par la science, fille de la France par l'industrie, petite-fille du système continental par la nécessité, la fabrication du sucre de betterave, dépouillant les tropiques d'un monopole, en apparence pour toujours assuré, abolissant la jachère sans diminuer les autres productions, augmentant celle de la viande; triplant pendant l'été le travail dans les cam-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pagnes, y supprimant le dur chômage de l'hiver; développant la science et l'art du mécanicien et du chimiste; fondant et entretenant d'immenses ateliers de mécanique, cette fabrication est certainement un des faits économiques les plus considérables qu'enregistrera l'histoire. Mais quel succès a jamais été acheté par plus de persévérance, de recherches, de sagacité, d'efforts généreux, d'audace et de confiance! Quel beau monument à élever à l'intelligence, au travail, à la science, que d'écrire dans toute sa vérité, dans toute sa naïveté, l'histoire du sucre de betterave! Ce n'est pas ici le lieu de tenter une telle œuvre; nous ne devons y contribuer que pour la part qu'y a prise l'Exposition actuelle, mais nul ne nous en voudra de ces quelques mots de reconnaissance envers les illustres devanciers des illustres industriels dont nous allons essayer d'esquisser les travaux.

Quand, d'un mélange de matières sans propriétés chimiques bien tranchées, il faut extraire l'une d'elles, l'opération est toujours délicate, mais elle le devient bien plus, si, dans un temps très-court, et sous des influences nombreuses, difficiles à conjurer, la substance principale change de nature sans retour possible à son premier état, et, surtout, si les matières à éliminer s'altérant elles-mêmes, acquièrent des propriétés nouvelles qui les rendent plus inertes encore à l'action des agents chimiques et physiques destinés à les faire disparaître.

Telles sont les difficultés que la nature, comme à plaisir, semble avoir accumulées dans le jus de la betterave. Aussi, ne doit-on pas être étonné s'il a fallu plus d'un demi-siècle à la science et à l'industrie pour les reconnaître et les vaincre en partie, et si, chaque année, apportant de nouveaux renseignements, voit apparaître des innovations, parfois des procédés qui, tout en marquant des progrès incontestables, viennent remuer les fabriques jusque dans leurs fondements, en mettant à néant les outillages les mieux construits, souvent les plus récents, toujours les plus coûteux. C'est là un des côtés néfastes de cette belle industrie, mais c'est par là aussi que, se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

soutenant à peine au début à des prix de 12 francs, qui, sous l'empire de lois prétendues protectrices, ne se sont que lentement abaissés, elle peut aujourd'hui s'enrichir à des prix de 60 centimes, et lutter glorieusement contre les colonies, cependant bien plus favorisées par la nature.

Jusqu'ici, quels que soient les détails spéciaux à chaque procédé, la fabrication du sucre de betterave compte cinq opérations distinctes.

1° L'extraction du jus;

2° L'élimination préalable de la plus grande masse possible des matières qui accompagnent le sucre;

3° La concentration ultérieure du jus dans les meilleures conditions de conservation du sucre et d'économie du combustible;

4° La cristallisation du sucre au sein du sirop ainsi obtenu;

5° La séparation de ces cristaux d'avec les eaux mères où ils ont pris naissance, et qui, sous le nom de *mélasse*, contiennent, outre le sucre qui a refusé de cristalliser, des sels alcalins solubles et les matières organiques qui n'ont pas disparu à la seconde opération. Or, à chacune de ces opérations répond un outillage spécial et indépendant des autres; c'est donc dans cet ordre, et en considérant chaque opération isolément, que nous allons établir le bilan des progrès réalisés.

CHAPITRE I.

RAPERIE.

De l'extraction du jus. — L'extraction du jus se fait dans un atelier spécial, portant le nom de râperie.

Une râperie complète, du système actuellement employé, compte : Un laveur de betteraves; une râpe; un ou deux ensacheurs; une ou deux presses à préparer; de 8 à 12 presses hydrauliques; un ou deux monte-jus.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Laveur. — Le laveur est toujours celui qu'a inventé M. Champonnois en 1825, et qui, depuis lors, a été partout adopté; cependant, s'il n'a, par lui-même, subi aucune modification, il a été heureusement complété par MM. Joly et Camus. En tête, ils y ont placé une noria qui, prenant les betteraves à terre, ou, mieux, dans un trou où il suffit de les pousser, les élève et les verse dans la trémie. C'est pour ce genre de travail une économie de peine et de main-d'œuvre de 50 pour 100 environ. En queue, ils y ont mis un épierreur; c'est une espèce de patouillet double dans les auges duquel tombent les betteraves avec les pierres qui les accompagnent trop souvent; par le mouvement des bras du patouillet, les betteraves ne font que passer, tandis que les pierres et les autres corps durs et denses restent dans les auges, d'où on les retire à chaque temps d'arrêt. Cet appareil rend de sérieux services en préservant les râpes et les coupe-racines de graves et trop fréquentes avaries.

Râpe. — La râpe a aussi été l'objet d'actives et heureuses recherches auxquelles ont contribué, chacun de leur côté, MM. Cail, Joly et Camus, et M. Champonnois. M. Cail a cherché à en régulariser l'action, tout en en augmentant l'effet utile; pour cela, il ne commande plus directement les poussoirs par un simple arbre coudé qui en fait varier la vitesse en avant, mais par des lames en spirale qui, la rendant constante, assurent à la pulpe une grande régularité; puis, par une disposition heureuse de leviers et de contre-poids, il ramène plus vivement les sabots en arrière et abrége le temps perdu.

MM. Joly et Camus ont au contraire supprimé les poussoirs, tout en diminuant le nombre et la grosseur de ces petits morceaux de betteraves qui, échappant à la râpe, nuisent tant par leur résistance à la pression de la pulpe qui les entoure et sont une si grande cause de détérioration des sacs. C'est à l'aide d'une trémie courbe ayant en largeur toute la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

longueur du tambour et l'embrassant sur le tiers environ de sa circonférence, qu'ils y sont parvenus. A sa partie supérieure, la trémie, s'éloignant du tambour de 18 à 20 centimètres, forme avec lui une gueule par où s'engagent les betteraves, tandis que s'en rapprochant à la partie inférieure jusqu'à devenir presque tangente, elle ne permet guère qu'à la pulpe de passer. Cependant, bien que moins nombreux et plus petits que par le passé, il s'échappe encore quelques petits morceaux de betteraves qui, se logeant entre les rangs des dents, ne sont pas atteints par elles. Toutefois, comparé à l'ancien système, le progrès est marqué, et les râpes de MM. Joly et Camus ont un succès mérité.

Quant à M. Champonnois, il s'est montré tout à fait radical. Avec lui, le tambour est devenu un cylindre fixe, les dents sont tournées en dedans, la betterave n'est plus en repos pendant le temps du râpage; elle est, au contraire, animée d'un vif mouvement de rotation qui, par la force centrifuge qu'elle acquiert, l'oblige à venir se déchirer contre les dents du cylindre. Du reste, voici la description qu'en donne M. Cail, qui, toujours à l'affût des innovations les plus utiles, et ne craignant pas de se faire à lui-même concurrence, s'est allié à M. Champonnois pour construire et exploiter la nouvelle râpe :

« Cette râpe diffère des râpes ordinaires en ce que le « tambour est fixe et que l'effort de pression de la racine sur « la surface râpante se produit par la force centrifuge; la « surface râpante est à l'intérieur au lieu d'être à l'extérieur. « La racine, introduite dans le tambour, est mise en mouve- « ment circulaire par des branches en fonte; elle prend la « vitesse qui lui est imprimée par ces branches, et elle frotte « sur la surface râpante avec un poids correspondant à cette « vitesse. Ce système a l'avantage de simplifier le mécanisme « au plus haut point.

« Les surfaces travaillantes peuvent être également ré- « duites, en ce que l'action du râpage s'exerce sur toute la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« surface râpante à la fois. La vitesse utile est aussi bien « moindre que celle des râpes à tambour, tournant en raison « du grand effort de frottement que donne la force centri- « fuge. Cet effort, limité au poids de la masse en mouvement, « garantit contre les avaries sérieuses que peuvent produire « les corps durs, pierres ou autres, introduits accidentelle- « ment avec la betterave ; ils peuvent frotter sans grand « danger pendant quelques secondes. La facilité du débrayage, « par un arrêt instantané, garantit contre une grave alté- « ration des lames.

« L'avantage le plus important de ce système, c'est de « donner une pulpe très-régulière et le degré de finesse dé- « siré, suivant la saillie donnée aux lames, tout en utilisant « mieux la force et en équilibrant l'arbre par le travail lui- « même.

« Le même appareil, modifié quant à la forme des lames, « fonctionne parfaitement comme coupe-racines. »

Cette description, que l'on trouve dans la notice de M. Cail sur son exposition, est un jugement qui a plus de valeur que le nôtre, car M. Cail apprécie et exécute ; nous, nous ne faisons qu'apprécier.

Cependant, qu'une observation nous soit permise : M. Champonnois, pour réduire l'espace occupé par son instrument, ne lui a appliqué qu'un petit volant qui, de plus, par des motifs secondaires de construction, se trouve aussi éloigné que possible du coussinet principal. Nous sommes distillateur et nous usons du coupe-racine Champonnois ; or, nous fondant sur la fixité du plan de rotation si bien démontrée par notre illustre confrère Foucault, pour mieux fixer le plan de rotation et empêcher ainsi toute déviation du plateau, nous avons placé notre volant qui d'ailleurs est bien plus puissant que celui de M. Champonnois, tout près du coussinet principal, en sorte que par le volant, nous équilibrons le plateau, et que par son mouvement nous empêchons tout changement du plan de rotation. Le succès que nous avons obtenu ainsi est

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tel que voilà trois ans que nous nous servons du même coussinet, quoiqu'il ait plus de un millimètre de jeu.

Ensacheur mécanique. — Une fois râpée, la betterave est mise dans des sacs en malfile claire, et portée sous la presse à préparer.

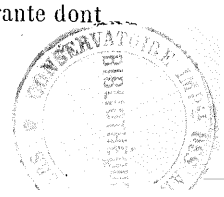
A priori, cette petite opération paraît peu pénible et facile à bien faire ; cependant il n'en est rien : par les mouvements rapides et répétés qu'elle exige, et dans lesquels sont engagés les principaux muscles du corps, elle finit par fatiguer beaucoup les ouvriers ; de plus, sous peine de mauvaises pressions, elle exige une assez grande précision.

MM. Joly et Camus, que nous avons déjà eu le devoir de signaler et qui ont étudié le râpage de la betterave avec un soin tout particulier, sont les premiers qui se soient préoccupés de cette question intéressante. Avec eux, c'est une pompe qui, aspirant de la pulpe qu'elle puise dans un réservoir où elle arrive sans cesse, et la refoulant à chaque oscillation en quantité nécessaire, est chargée de remplir les sacs.

Théoriquement, l'idée est des plus ingénieuses; malheureusement, le moindre morceau de betterave qui se loge dans les clapets risque d'entraver le jeu de l'appareil ; aussi, ne serions-nous pas étonné que MM. Joly et Camus n'aient surtout perfectionné leur râpe afin de mieux assurer le jeu de leur pompe. Cependant, depuis eux, on a remplacé la pompe par une véritable pelle mécanique qui n'a pas à redouter les fautes de la râpe, mais qui, il faut le dire, est loin aussi d'avoir la précision de la pompe, quand celle-ci fonctionne bien.

Aussi, suivant toutes les probabilités, maintenant qu'avec la râpe de M. Champonnois on n'aura plus que des pulpes très-égales, très-fines et tout à fait exemptes de morceaux, tout laisse à penser qu'on en reviendra à la pompe de MM. Joly et Camus.

Cependant, avant d'en finir avec le râpage, il est un détail qui mérite de fixer l'attention : c'est la manière élégante dont



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Cail a groupé le laveur, la râpe et l'ensacheur. Ces trois appareils ne font qu'un tout solide qui a pour base une auge en fonte où tombe la pulpe, qui, dès lors, ne s'égare plus au milieu de l'atelier, et vient, tout en s'altérant, faire glisser les ouvriers et entraver leur travail.

Presse à préparer. — Une fois ensachée, la pulpe passe d'abord sous la presse préparatoire où elle perd 50 pour 100 de son jus, et prend assez de consistance pour qu'à la presse à finir les piles de sacs, ne se déformant plus, puissent être serrées à fond.

Les presses à préparer sont de trois types : la presse à vis, la presse à vapeur, la presse hydraulique à mouvement rapide, mais à faible pression.

M. Cail continue à préférer la presse à vis : par une nouvelle disposition, il la fait fonctionner à l'aide d'un mouvement plus ou moins analogue à celui d'une de ses machines à raboter, et, par ce moyen, il en règle à volonté la course et jusqu'à un certain point la pression.

La presse à vapeur emprunte son mode de va-et-vient à celui du marteau-pilon, sauf qu'elle ne martèle pas et ne fait qu'appuyer ; en cela, elle l'emporte sur la presse à vis, parce que sa pression est constante et ne fonctionne nullement comme elle de la hauteur de la pile de sacs ; mais aussi elle appuie si brutalement qu'elle les crève avec grande facilité.

Quant à la presse hydraulique, elle doit sa rapidité, non-seulement au diamètre et à la course de sa pompe, mais surtout à un compensateur qui n'est autre chose qu'un piston long de 2 à 3 mètres et chargé d'un poids très-lourd qui se soulève pendant le temps où la presse ne travaille pas, et emmagasine ainsi de la force qu'il livre aussitôt qu'on met la boîte de refoulement en communication avec celle de la presse elle-même. Cet appareil très-élégant a été introduit dans les sucreries par MM. Lecointe frères, de Saint-Quentin ; il a l'immense avantage de donner une pression constante et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui se gradue bien à l'aide d'un robinet disposé *ad hoc*.

Presse à finir. — Les presses à finir sont les presses hydrauliques que tout le monde connaît : depuis longtemps elles semblent arrivées à l'apogée de la perfection : leur travail est régulier, et les buffets de pompes qui les complètent sont généralement bien conçus et bien exécutés. Ce n'est donc plus dans cette voie qu'il faut chercher le progrès : c'est dans un nouvel appareil qui, d'alternatif, rendrait le travail continu, supprimerait l'emploi dispendieux des sacs de malfile et la presque totalité de la main-d'œuvre, tout en donnant le maximum de jus ; déjà bien des inventeurs se sont posé cet important problème, et tout fait espérer que prochainement quelqu'un d'eux réussira.

Parmi les hommes qui ont étudié cette grave question, ne reculant devant aucun sacrifice, et qui en ont ainsi préparé la solution, nous citerons avec reconnaissance MM. Pecqueur, Colette de Seclin, Rohlfs, Bomel d'Haubourdin, Lefèvre de Corbehem, puis MM. Zambaux, Liebermann, Robert de Massy, Philippe et Champonnois, qui déjà ont été ou seront brillamment cités dans ce rapport. Parmi les systèmes qui se sont présentés à l'esprit des chercheurs, le laminage de la pulpe par des cylindres est un de ceux qui, bien que n'ayant pas encore tenu tout ce qu'on en espérait, méritent de ne pas être abandonnés.

Ce fut le hardi et illustre Pecqueur qui, y a plus de trente ans, entra dans cette voie en construisant une presse qui avait pour principe de faire passer la pulpe entre deux cylindres perforés à la suface. M. Colette de Seclin, avec une persévérance digne d'éloges, entrant dans les vues de Pecqueur, multiplia le nombre des cylindres et fixa les pulpes sur la surface du cylindre principal à l'aide d'une pompe foulante qui, en outre, commençait l'essoration.

M. A. Philippe continue des études dans cette direction : espérons qu'il réussira.

D'une autre part, MM. Lair et Mouflet ont imaginé de ne

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus râper la betterave, mais seulement de la couper en lanières, comme on fait dans la distillerie par le procédé Champonnois, de la jeter ensuite, par couches séparées par des claies, dans un cylindre perforé, de la cuire alors et de la comprimer.

Dans ces conditions, la proportion de pulpe essorée ne serait plus que de 10 à 12 pour 100, au lieu de 18 à 20, en sorte que, tout à la fois, on aurait plus de rendement en jus, moins de main-d'œuvre et pas de dépense de sacs. Le bénéfice serait donc considérable ; mais nous n'oserions dire que le sucre se conserve aussi bien dans un jus porté à 100 degrés en l'absence de tout alcali : c'est à examiner, car, dans le cas contraire, le nouveau procédé de MM. Lair et Mouflet pour l'extraction du jus mériterait la plus haute attention.

De l'extraction du jus par semi-macération. — Il y a quelque vingt ans, M. Champonnois nous disait que plus on mettait d'eau à la râpe et mieux les jus se travaillaient. Malheureusement, plus on met d'eau et plus il faut brûler de charbon : de là, la parcimonie des fabricants à cet égard.

Cependant il est dans les environs de Cologne des fabriques qui, avec des betteraves riches et des combustibles à bon marché, opèrent d'après ce principe.

Pour éviter les pertes, les sacs et surtout la main-d'œuvre, la betterave est rapée puis jetée dans une essoreuse et lavée ultérieurement dans l'essoreuse même avec son poids d'eau.

Depuis l'invention du triple effet, les résultats obtenus par ce procédé ne laissent pas que d'être favorables et comme tels de mériter d'être signalés.

Enfin M. Robert de Massy, sacrifiant les pulpes, qui alors ne sont plus bonnes qu'à faire de la litière pour le bétail, mais aussi extrayant 92 pour 100 du jus au lieu de 78 pour 100, chaule la betterave à la râpe, la comprime alors, puis cuit le résidu additionné d'une seconde dose de chaux et la comprime aussi.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Faut-il condamner cette méthode? A priori, oui; elle enlève au fermier une nourriture précieuse à son bétail ; cependant, quand on réfléchit que :

1° Le jus de betterave est, en sucrerie d'abord, destiné à donner du sucre;

2° Que toute la partie de la betterave insoluble par elle-même, ou le devenant sous l'influence de la chaux, retourne à la terre;

3° Qu'il est loisible au fermier, en faisant un peu moins de betteraves, de remplacer les pulpes qu'il perd par d'autres fourrages, ou même en en faisant autant par de la betterave en nature;

4° Qu'enfin les frais de fabrication du sucre sont diminués, pendant que le rendement augmente ;

On abandonne ce vieux préjugé qui fait considérer la pulpe de betterave comme tout à fait indispensable aux bestiaux, et l'on devient partisan du procédé de M. Robert de Massy.

CHAPITRE II.

DE L'ÉLIMINATION PRÉALABLE DE LA PLUS GRANDE MASSE POSSIBLE DES MATIÈRES ACCOMPAGNANT LE SUCRE.

§ 1. — Historique des procédés.

Dans les procédés ayant cours aujourd'hui, et qui nous occuperont seuls ici, cette opération porte le nom plus court de *défécation*. Nulle n'est plus importante, nulle n'est en apparence plus simple, nulle n'exige des agents et un outillage plus vulgaires, plus vulgairement employés, nulle n'est resserrée dans un cercle d'idées plus étroit, et, cependant, nulle n'a plus exercé la sagacité des chercheurs.

Ainsi, en s'en tenant aux premiers inventeurs, et sans parler

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des importants travaux de leurs nombreux successeurs, on voit : Lampadius conseiller, il y a soixante-dix ans, la défécation par la chaux, et il y en a soixante que son conseil est suivi ; Derosne, il y a cinquante-cinq ans, introduire dans la fabrication le noir animal, qui depuis ne l'a jamais abandonné ; Barruel, il y a cinquante ans, inventer l'injection de l'acide carbonique dans le jus après la défécation, afin de précipiter l'excès de chaux ; M. Dubrunfaut, insister, il y a déjà quarante ans, pour faire mélanger la chaux au jus, au sortir de la presse, afin de prévenir les altérations.

Toutes ces données, sagement coordonnées, savamment discutées, habilement appliquées, constamment contrôlées et perfectionnées, constituaient le seul procédé suivi jusqu'en ces derniers temps; et voilà que, aujourd'hui, sans changer aucun des agents employés, sans même intervertir leur ordre, MM. Possoz et Périer viennent de faire, par une voie où tant de savants distingués, tant de praticiens habiles ont tant de fois passé, une découverte scientifiquement des plus originales, industriellement d'une telle importance que, en quelques années, elle s'est implantée dans plus du tiers des fabriques, et que, avant peu, à moins d'un procédé nouveau, elle s'implantera dans toutes. En quoi consiste donc cette belle découverte ?

Quand, éliminant le procédé d'Achard, modifié par Crespel, de Lisle, on suit l'histoire du sucre de betterave depuis le jour où Derosne introduisit le noir animal dans sa fabrication, on voit que, sous le rapport de la défécation, elle se divise en quatre périodes bien tranchées. Pendant la première, on ne compte pas de trop près avec la chaux. Pendant la seconde, son dosage exact est, au contraire, l'objet des préoccupations constantes des fabricants. Pendant la troisième, on revient aux premiers errements, et même on en force encore un peu plus la dose. Pendant la quatrième, qui est celle inaugurée par MM. Possoz et Périer, plus on la prodigue et mieux on fait. Faut-il donc croire que ces diverses alternatives

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans l'emploi de la chaux aient été dictées par la mode ? La mode n'a que faire ici : tout s'est constamment réduit à une question de noir animal. Le noir animal, en effet, était au début à bon marché, aussi ne l'épargnait-on pas; de plus, une fois qu'il avait servi, on le jetait aux engrais; mais avec la multiplication des fabriques, et malgré les os venus de Montevideo et de Buenos-Ayres, le prix s'en éleva tellement, que l'on dut finir par y regarder de très-près. C'est même sous l'empire de cette nécessité que sa révivification fut inventée, et que Dumont créa les filtres qui portent encore son nom. Or, suivant que du noir animal a absorbé des matières purement organiques et fermentescibles, ou des matières organo-minérales et particulièrement organo-calcaires, il reprend à la révivification presque toute sa puissance, ou reste à peu près anéanti.

A la première période, quand on jetait le noir après qu'il avait servi, il n'importait donc pas de forcer un peu en chaux à la défécation, car, à quantité égale de noir, il n'y avait à tenir compte que du rendement en sucre; et comme, sous ce rapport, un petit excès de chaux ne nuisait pas, et servait à la conservation des jus, on en forçait tout naturellement la dose. Mais à la deuxième, avec la nécessité de revivifier le noir, il fallut, sous peine de l'anéantir rapidement, ramener la chaux à des limites exactes, et même, pour plus de sûreté, se tenir toujours un peu en dessous, quitte à laisser au noir le soin d'absorber la petite différence de matières organiques qu'un peu plus de chaux aurait précipitées ; car à la révivification on regagnait bien des fois le noir ainsi employé.

Malheureusement, avec la betterave rien n'est plus variable qu'une pareille limite ; l'espèce, l'état de conservation dans les silos, la nature du sol et des engrais, le degré de maturité des racines, la font, en effet, changer du tout au tout et sans qu'il soit possible de la déterminer à nouveau autrement que par des tâtonnements longs et délicats ; de là de graves mécomptes, même chez les plus habiles et les plus soigneux, qui, inopiné-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment, voyaient faute de chaux la fermentation se mettre dans leur jus, puis, comme une gangrène, gagner un grand nombre d'opérations consécutives et compromettre parfois le reste de la campagne.

Les choses en étaient là quand MM. Rousseau frères, reprenant le procédé de Barruel, mais avec une sagacité dont on ne leur a peut-être pas tenu assez compte, inaugurèrent la troisième période.

Ces messieurs ayant, en effet, remarqué que, suivant que l'on fait ou qu'on ne fait pas bouillir un jus forcé en chaux, il retient ou ne retient pas de chaux après la carbonatation, conseillèrent dès lors la carbonatation sur jus clairs et très-forcés en chaux, mais qui à la chaudière n'avaient pas été portés à une température de plus de 85°, c'est-à-dire à une température où la chaux ne décompose pas encore les matières azotées de la betterave.

Avant d'aller plus loin, qu'on nous permette de payer ici un juste et impartial tribut de reconnaissance à MM. Rousseau frères; avant eux, la révivification du noir restait une arme à deux tranchants; mais après leur découverte, la révivification, se trouvant conciliée avec la conservation des jus, n'a plus été qu'un bienfait.

§ 2. — Procédé Possoz et Périer.

Après tous ces travaux qui se complétaient si bien les uns par les autres, et qui faisaient de la défécation, auparavant si délicate, si incertaine, une opération facile et sûre, il était à penser que, si un jour elle progressait encore, ce ne serait qu'en s'appuyant sur des agents autres que la chaux, l'acide carbonique et le noir; c'est, en effet, ce qui eut lieu d'abord; un instant la baryte donna l'espoir de voir supprimer le noir, tout en obtenant le sucre pur du premier jet; malheureusement, quoique bien peu soluble, le sucrate de baryte n'étant pas encore assez insoluble et la baryte demandant trop de cha-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur pour se régénérer, la pratique ne put adopter cette hardie et magnifique conception ; l'alcool parut ensuite devoir rendre des services, et son emploi était à l'étude, quand MM. Possoz et Périer opérèrent la révolution actuelle, en découvrant ce qui, chose singulière, avait échappé à tant d'yeux vigilants, que le carbonate de chaux hydraté jouit, dans une certaine mesure des propriétés absorbantes du noir, et n'abandonne pas, en se déshydratant, les matières qu'il a fixées ainsi.

Nécessairement leur premier soin fut d'étudier quelles sont, dans la betterave, les substances sur lesquelles l'hydrocarbonate réagit ; bientôt ils reconnurent que sauf la matière azotée soluble, tant ménagée par MM. Rousseau, il absorbe toutes celles sur lesquelles le noir animal a lui-même une action.

C'était certainement un pas de fait ; cependant, en y regardant de plus près, ils finirent par s'apercevoir que, si par elle-même cette matière azotée reste réfractaire à l'hydrocarbonate, il n'en est pas de même des dérivés organo-calcaires qu'elle forme par une longue ébullition avec la chaux, et qui, eux, se laissent au contraire absorber avec une grande facilité.

Dès lors, partant de là, MM. Possoz et Périer ont imaginé le nouveau procédé connu sous le nom de double carbonatation, et dont le principe est de traiter deux fois de suite les jus par une forte proportion de chaux, l'ébullition et une injection simultanée d'acide carbonique, jusqu'à parfaite neutralisation. A la première fois, les jus reçoivent au sortir de la presse leur dose de chaux tout entière, ce qui prévient toute altération ultérieure ; de plus, ils sont carbonatés sur écume, c'est-à-dire dans la chaudière même où ils ont été défégués ; c'est ce qu'on a appelé la carbonatation trouble.

A la seconde, les jus, ayant été tirés à clair dans une chaudière semblable à la première, ne reçoivent plus la chaux que par doses successives et répétées, même longtemps après que les vapeurs que l'ébullition en dégage ne sentent plus l'ammoniaque, ce qui indique que la matière azotée dont nous avons parlé est entièrement décomposée, et que, par conséquent, les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

substances organo-calcaires qui en dérivent, et qui sont absorbables par l'hydrocarbonate, sont complétement formées; quant au courant d'acide carbonique, il est également suspendu quand on est arrivé à la neutralité absolue; mais pour l'ébullition, elle est prolongée bien au delà de ce terme, c'est-à-dire jusqu'au moment où tout le bicarbonate de chaux qui se forme, même à cette température, est totalement décomposé et revenu à l'état de carbonate neutre et insoluble. Les jus, étant alors décantés, sont rapidement passés une première fois au noir, puis concentrés à 20° Baumé, repassés ensuite sur le noir, et enfin envoyés à la cuite.

Tel est le procédé Possoz et Périer; avec lui le noir, ce poison lent et coûteux des fabricants de sucre, sur lequel ils sont si souvent trompés, est réduit au dixième, sans même que ce dixième soit absolument indispensable; c'est la chaux, cet autre agent toujours énergique et sûr, quand on lui demande des réactions complètes, qui avec l'acide carbonique vient remplacer le noir; il en faut, il est vrai, davantage qu'autrefois; mais l'acide carbonique ne coûte rien, car il se perdrait si l'on ne l'employait pas, et la chaux coûte bien peu de chose, car elle est souvent revendue comme engrais à un prix plus élevé que celui de revient; quant à la main-d'œuvre, elle se compense. Ainsi, plus de garanties, moins de dépenses, et, pour couronner l'œuvre, une augmentation d'un sixième sur le rendement, et des sucres si beaux que, avec une prime de 12 pour 100, ils passent directement dans la consommation sans s'arrêter au raffinage.

Rarement un progrès a été aussi décisif, aussi complet.

Quant à l'outillage nécessaire à l'exploitation du procédé Possoz et Périer, il se compose de quatre sortes d'appareils :

1° Les chaudières à déféquer; 2° la soufflerie à acide carbonique; 3° les filtres à noir; 4° les presses à écumes.

Chaudières à déféquer. — Les chaudières à déféquer, quant au principe, ressemblent tout à fait aux anciennes, sauf

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que, outre le serpentin de vapeur, dont on a relativement fort augmenté la puissance, on a ajouté un serpentin à gaz acide carbonique qui est percé de trous comme une écumoire par où s'échappe le gaz en bulles très-petites et très-nombreuses. Cependant, en raison de ce que l'opération est double et dure plus longtemps, ce qui, pour une même quantité de betteraves, exige des chaudières cubant quatre fois plus, on les a faites carrées au lieu de rondes, afin de ménager l'espace qui, par avance, étant délimité dans les anciennes fabriques, ne pouvait être augmenté sans de grands frais d'aménagement. D'autre part, la tôle, plus économique, à remplacé le cuivre, la manœuvre des robinets a été rendue plus facile, et la vidange simplifiée, si bien que la main-d'œuvre a été réduite à la dernière limite.

C'est à M. Cail que sont dus ces heureux agencements. Mais il serait injuste de ne pas citer M. Évrard, de Douai, qui a apporté aux nouvelles chaudières un heureux perfectionnement; dans les conditions de l'opération, il se produit, en effet, des mousses fort gênantes que jusqu'ici on n'abattait qu'avec des corps gras, qui, à la fin, engendraient des inconvénients dans la fabrication et occasionnaient une dépense; à l'aide d'un petit jet de vapeur que livre un tuyau percé de petits trous placés en dehors du liquide en ébullition, M. Évrard a supprimé et les inconvénients et une partie de la dépense.

Soufflerie. — M. Cail, d'une part, et MM. Farinaud, Baudet, Bouart et Piedbœuf, d'autre part, ont aussi sensiblement amélioré la soufflerie : le cylindre à gaz est aujourd'hui à tiroir, ce qui lui permet d'atteindre des limites de vitesse auxquelles ne pouvaient arriver les machines à clapet, qui, du reste, se fatiguaient rapidement et demandaient un plus grand entretien.

Décanteur méthodique continu. — Une des opérations les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus importantes dans la défécation, c'est l'éclaircissement des jus : rien, en effet, n'altère le noir avec plus de rapidité qu'un jus louche.

Or, en sucrerie, les opérations se succédant d'une manière régulière et sans qu'il soit possible d'en allonger une sans suspendre les autres, on était parfois obligé de sacrifier du noir plutôt que d'attendre des décantations parfaites, quand M. A. Perret, parent des célèbres inventeurs de la fabrication de l'acide sulfurique par les pyrites, est venu parer à ce grave inconvénient à l'aide du simple et ingénieux appareil dont nous allons esquisser le principe.

Le décanteur méthodique se compose d'un bac rectangulaire en tôle, divisé à l'intérieur en quatre compartiments formés par deux bandes de tôle en croix. Trois de ces compartiments fonctionnent à la fois, pendant que le quatrième est vidé, nettoyé des boues qui s'y sont déposées, et mis en réserve pour le moment où l'un des compartiments en action doit être remplacé. Quant au jeu de l'appareil, il est des plus simples : le liquide arrive à l'un des angles du compartiment n° 1, pour se déverser sans flots ni vagues à l'angle diagonalement opposé, dans le compartiment n° 2, et passer ensuite de la même manière dans le compartiment n° 3, pour de là passer aux filtres à noir.

Dans ce long trajet, et en ayant soin de donner au liquide un mouvement lent et une direction convenable, il se décante si bien que constamment il acquiert la plus grande limpidité ; c'est là un véritable service rendu à la sucrerie et aux arts chimiques.

Filtres à noir. — Les grands filtres à noir de Dumont ont été remplacés par des petits, qui du reste ne présentent pas un intérêt particulier.

Presse à écumes. — Cependant, avec les fortes proportions de chaux qu'emploient MM. Possoz et Périer, il y avait évi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

demment lieu de perfectionner le travail des écumes, et c'est à quoi est venue satisfaire la presse filtre inventée par M. Danek et successivement perfectionnée par MM. Riedel et Kemnitz, d'une part, et MM. du Rieux et Roettger, d'autre part.

En voici, du reste, la description donnée par MM. Du Rieux et Roettger eux-mêmes :

Cet appareil se compose d'une série de plateaux circulaires ou cadres disposés verticalement les uns auprès des autres, et qui sont munis de talons, s'appuyant sur des arbres latéraux, et destinés à les soutenir et à leur donner la faculté de glisser, tout en permettant de les enlever, quand cela est nécessaire ; à l'une des extrémités est disposé un fort plateau qui est fixé, contre lequel viennent s'appuyer tous les cadres intérieurs, et qui reçoit les bouts des arbres latéraux sur lesquels glissent les cadres intérieurs ; à l'autre extrémité il existe un plateau de même force, mais mobile, et qui vient s'appuyer contre les cadres intérieurs, tout en glissant aussi sur les arbres. Au moyen d'une vis d'étau supportée dans la traverse qui relie cette extrémité des deux arbres latéraux, on peut serrer aussi fortement que l'on veut le gros plateau mobile contre les cadres, et les cadres contre le gros plateau fixe. A l'autre extrémité du gros plateau fixe, pour relier les deux arbres parallèles, il se trouve aussi une traverse de fer qui maintient tous les cadres. Chacun des cadres constitue un filtre qui extrait le liquide des matières qui lui ont été confiées. Chaque cadre est en fonte et pourvu de barreaux, sur chaque face desquels est placée une tôle perforée, recouverte d'une toile filtrante en matière textile.

Lorsqu'on serre préalablement ces cadres les uns contre les autres, le creux qui a été ménagé avec intention sur chacune des faces de chaque cadre forme alors une chambre ou un espace vide, compris entre deux tôles perforées et deux toiles filtrantes, et appartenant par chacun des côtés à un cadre différent. C'est dans cet espace qu'arrive la matière et qu'elle se soumet à la filtration et à la pression simultanées ; elle y ar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rive sous l'action d'un réservoir supérieur de matière, ou au moyen de pompes foulantes ou d'une pression de vapeur exercée sur la matière dans un monte-jus, ou encore au moyen de l'air comprimé ou de toute autre manière ; en passant par un conduit ovale qui traverse tous les cadres, et que l'on a eu soin de ménager dans la partie pleine et supérieure du bord du cadre, afin de ne pas être forcé d'entailler les toiles, ou les tissus métalliques, elle se répand dans les différents compartiments formés entre les surfaces filtrantes de deux plateaux voisins, etc.

Par l'effet de la pression, la matière se filtre en traversant les tissus textiles ou métalliques, et par des conduits munis de robinets elle finit par arriver au jour, où on la recueille pour en disposer comme il convient.

Cet appareil était certainement l'un des plus originaux de ceux qui figuraient à l'Exposition de 1867 : simple de construction, d'un maniement facile, il donne la solution depuis longtemps cherchée d'un problème des plus importants pour les arts chimiques : *la filtration rapide et sûre des matières semi-fluides.*

CHAPITRE III

DE LA CONCENTRATION DU JUS.

§ 1. — Procédés divers.

On sait combien sont nombreuses les influences sous lesquelles le sucre cristallisable se transforme en sucre incristallisable, mais on n'ignore pas non plus que la chaleur favorise singulièrement ce phénomène.

Tout procédé de concentration qui abaisse le point d'ébullition d'un jus et, *a fortiori*, d'un sirop, est donc favorable à l'extraction du sucre ; ce fut Howard qui, vers 1818, appliqua

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ce principe en découvrant la chaudière à évaporation dans le vide. Malheureusement elle n'économisait pas assez le combustible pour qu'il y eût intérêt à lui faire concentrer les jus ; aussi, il y a quelques années encore, n'était-elle employée que pour la cuite des sirops.

Les jus, en effet, avant d'arriver aux chaudières d'évaporation, passaient d'abord en lame très-mince sur des tuyaux par lesquels s'échappaient toutes les vapeurs de détente des moteurs et des chaudières de concentration, en sorte que, sans qu'il en coûtât rien, ils arrivaient déjà très-notablement concentrés dans les chaudières à évaporation directe. Ce simple et ingénieux procédé a marqué en son temps un important progrès. Cependant, il était à regretter qu'il n'épargnât pas le sucre aussi bien que le combustible ; que même il allât contre le principe qui veut, qu'au lieu d'élever le point d'ébullition, on doive l'abaisser d'autant plus que le jus se concentre, parce que les matières qui déterminent l'interversion du sucre se concentrant elles-mêmes, prennent d'autant plus de puissance qu'elles sont moins diluées et que le sirop devient lui-même plus riche en sucre. Les choses en étaient là, quand apparut le triple effet qui résout le problème dans son entier, et pousse même plus loin que le double effet l'économie du combustible.

Quelle que soit sa tension, quand une vapeur se condense, elle dégage une quantité de chaleur qui, sous le même poids de vapeur, est sensiblement la même. Par conséquent, en admettant qu'il n'y ait pas de déperdition de chaleur, on pourrait faire bouillir autant de chaudières à vide que l'on voudrait et tirer simultanément de chacune d'elles une même quantité d'eau distillée en n'en chauffant qu'une seule : il suffirait, pour cela, de mettre le générateur de cette chaudière, qui serait chauffée directement, en communication avec l'appareil de chauffe de celle qui la suivrait, d'en faire de même de la seconde à la troisième, et de continuer ainsi jusqu'à la dernière ; puis de faire dans chacune un vide bien gradué, qui, aussi

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

complet que possible dans la dernière, ne serait que de quelques centimètres dans la première.

Tel est le principe de l'appareil actuel; seulement, comme l'absence de toute déperdition de chaleur est un fait impossible, comme il est bien difficile d'éviter toute rentrée d'air, comme le point d'ébullition s'élève à mesure que les jus se concentrent, comme les surfaces de chauffe doivent avoir d'autant plus de développement que la vapeur, en se dilatant, agit à une plus basse température, on n'a pu multiplier indéfiniment le nombre des chaudières, et, dans la pratique, il a fallu se restreindre à trois; de là le nom de triple effet donné à l'appareil.

La première des chaudières, qui est chauffée par la vapeur d'échappement des moteurs, et à laquelle vient s'ajouter une part plus forte directement tirée des générateurs, reçoit les jus faibles venant des filtres à noir et marquant de 4 à 5 degrés au densimètre de Baumé, et les porte à 10; la deuxième, qui est chauffée par la vapeur s'échappant de la première, s'approvisionne également à ses dépens et porte les jus à 16; la troisième, qui est chauffée par la vapeur de la seconde, lui emprunte aussi ses jus qu'elle élève à ses 20 degrés, pour les retourner alors aux filtres, et de là à la cuite; quant aux dépressions exercées dans chaque chaudière, elles sont en commençant par la première de 25, 45 et 65 centimètres de mercure, et les températures de 80, 65 et 50 degrés. Aussi, avec cet abaissement de température concordant avec la concentration successive du jus, le sucre est si bien ménagé que, non-seulement le rendement augmente de 1/4 pour 100, mais surtout il est assuré. Quant à l'économie de charbon, elle est de 29 pour 100 sur celui qui était consommé avec les appareils à double effet.

C'est à M. Robert, l'illustre agronome de Sennowisch, que l'on doit l'invention du triple effet. Maintenant qu'elle a réussi, d'autres prétendants en réclament la paternité, nous le savons; mais, en industrie, celui qui fait passe bien avant celui qui dit:

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

on dit tant, en effet, que c'est un hasard quand on dit bien; le cahier des brevets est là pour le prouver.

D'après ce que nous venons d'expliquer, un triple effet devrait se composer de trois appareils d'Howard, dont les chaudières 2 et 3 rempliraient le rôle de réfrigérant à l'égard des chaudières 1 et 2; en sorte qu'il devrait compter : 1° trois chaudières; 2° trois vases de sûreté; 3° un réfrigérant pour condenser les vapeurs de la troisième chaudière; 4° trois machines à vide.

Ce fut, en effet, ainsi que l'on construisit les premiers appareils. Mais bientôt l'on vit que, du fait même de la condensation des vapeurs émanées d'une chaudière au contact des surfaces plus froides qu'elles rencontrent dans la chaudière suivante, il se produit spontanément un vide qui est suffisant pour l'effet désiré; dès lors, on supprima les pompes pneumatiques des chaudières 1 et 2, et l'on ne laissa subsister que la pompe de la chaudière n° 3, qui, en conséquence, fut chargée non-seulement de faire le vide dans la troisième chaudière, mais encore d'absorber les eaux de condensation des autres chaudières, ainsi que les gaz fixes qui, quoi qu'on fasse, s'y trouvent toujours mélangés.

Chaudières à évaporer. — Ceci établi et la chaudière d'Howard étant connue, nous n'avons plus qu'à nous occuper des dispositions particulières que réclament les chaudières d'un triple effet. La chaudière d'Howard marchant au besoin à vide plein et ne recevant dans son appareil de chauffe que de la vapeur sous forte pression, un petit serpentin lui suffit pour la mettre en action; mais avec le triple effet il n'en est plus ainsi; les différences de vide étant faibles, la vapeur de chauffe ne dépassant pas 110 degrés au maximum et tombant à 65, il a fallu ménager, avec le plus grand soin, tout ce qui peut faciliter et maintenir la transmission de la chaleur et la pleine ébullition du liquide. Par conséquent, les surfaces de chauffe ont dû être développées et leur nettoyage rendu facile, afin que

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les limons dont elles se recouvrent, étant fréquemment enlevés, n'en altérassent pas la conductibilité; le métal qui les compose a dû aussi être réduit aux plus faibles épaisseurs, pour rendre la transmission de la chaleur plus rapide; enfin, il a fallu restreindre les couches de liquide à évaporer autant que l'ont permis pratiquement les autres conditions.

M. Cail, de Paris; MM. Farinaud, Baudet et Bouart, de Lille, en participation avec M. Piedbœuf, d'Aix-la-Chapelle, M. Zambaux, de Paris, et M. J. Aders, de Neustadt-Magdebourg, tous exposants, ont résolu, avec des variantes qui leur sont propres, ce problème délicat.

L'appareil Cail représente assez fidèlement un cylindre de 2 mètres de diamètre sur 3 de hauteur, fermé à chaque bout par deux surfaces légèrement coniques, dont l'une porte, à sa partie inférieure, c'est celle du bas, un robinet servant à vidanger les eaux de toute sorte les jours de nettoyage; tandis que l'autre par sa partie supérieure communique, à l'aide d'un large tube, avec un appareil de sûreté où sont retenues les portions de jus que l'ébullition peut entraîner et de là, avec la chaudière suivante, s'il s'agit des chaudières 1 et 2, ou, avec le réfrigérant, et, de là, avec la pompe pneumatique, s'il s'agit de la troisième chaudière. Cependant à 0^m25 du fond d'une part, et à 1^m20 d'autre part, sont deux diaphragmes qui, par conséquent, divisent la chaudière en trois parties.

C'est entre ces deux diaphragmes que se trouve l'appareil de chauffe, qui est formé par des tubes droits en cuivre rouge de 10 centimètres de diamètre, rivés sur les deux diaphragmes à la manière des tubes d'un générateur de locomotive, et s'ouvrant, par conséquent, à la fois dans les deux capacités extrêmes qu'ils mettent ainsi en communication. La vapeur, étant injectée entre ces deux diaphragmes, vient échauffer les tubes et, par suite, le jus, qui occupe d'abord la capacité inférieure, puis l'intérieur des tubes, et enfin recouvre le diaphragme supérieur. Un trou d'homme permet d'ailleurs d'entrer dans la chaudière et d'en nettoyer les tuyaux, en y passant un simple gou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pillon ; de plus, des lunettes-fenêtres, placées diamétralement en face les unes des autres, et se répétant cinq ou six fois sur toute la hauteur, éclairent l'intérieur de la chaudière et remplacent avantageusement le tube indicateur de niveau, sujet à se briser.

Quant à MM. Farinaux, Baudet et Bouart, en participation avec M. Piedbœuf, leur appareil ressemble extérieurement à celui de M. Cail; seulement, pour faciliter la circulation de la vapeur de chauffe, ils l'ont un peu renflé entre les deux diaphragmes, mais, à l'intérieur, la différence est bien autrement importante.

Quand une surface n'est chauffée qu'à un degré très-peu supérieur au point d'ébullition du liquide, qui est à son contact, elle se recouvre souvent de petites bulles de vapeur très-adhérentes qui en détruisent presque complétement la conductibilité et empêchent ainsi, ou du moins nuisent beaucoup à l'évaporation. C'est, surtout, dans des tubes étroits et fermés que ce phénomène se remarque le mieux ; mais il est un moyen de l'empêcher, c'est de faire circuler le liquide en lui donnant un mouvement de bas en haut et de haut en bas, qui, en quelque sorte, ramone constamment les surfaces recouvertes de vapeur et entraîne les bulles qui tendent à y adhérer. Dans un appareil à triple effet, il est donc urgent, ou d'employer des tubes très-larges qui, malheureusement, ne sont pas favorables à la multiplication des surfaces de chauffe, et qui en outre, exigent que le métal soit plus épais, par suite moins conducteur, ou bien, si l'on préfère les tubes étroits, d'y faire, par un moyen quelconque, circuler un liquide.

Malgré leurs inconvénients relativement au développement des surfaces de chauffe, M. Cail, comme nous venons de le le dire, a adopté des gros tubes, mais ses concurrents de Lille et d'Aix-la-Chapelle, ne voulant pas sacrifier ainsi la surface de chauffe, ont préféré les petits ; seulement, prévoyant bien que la vapeur les polariserait s'ils n'y obviaient, ils ont eu l'ingénieuse idée d'y faire circuler le liquide avec rapidité en re-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

liant les deux diaphragmes par leurs centres à l'aide d'un gros tuyau de 18 à 20 centimètres de diamètre, venu de fonte, et débouchant, comme les petits, dans les deux capacités extrêmes de l'appareil.

De tous les tubes, en effet, c'est celui-là qui, relativement, s'échauffe le moins : dès lors, tandis que le liquide prend tout naturellement un mouvement *per ascensum* très-rapide dans les petits tubes où il est le plus échauffé, il en prend un *per descensum* dans le grand où il l'est beaucoup moins : en sorte qu'il s'établit dans les petits tubes un courant qui, les balayant constamment, prévient l'évopolarisation par les bulles de vapeur, qui sans cela adhéreraient à leurs parois. Cette ingénieuse disposition a permis à ses auteurs d'employer des tubes de 5 centimètres seulement, plus minces encore de paroi, par conséquent meilleurs conducteurs que ceux de M. Cail, et à l'aide desquels ils ont plus que doublé la surface de chauffe.

Dans la pratique, c'est cette nouvelle disposition qui, jusqu'ici, est préférée ; elle fait le plus grand honneur à ses inventeurs, qui du reste dans toutes leurs constructions et inventions soutiennent dignement la réputation de feu Farinaux, le fondateur de leur maison, qui dans son temps a eu, à la Société d'encouragement, la gloire de partager le grand prix de 12,000 francs pour les machines à vapeur avec M. Farcot.

§ 2. — Procédé Zambaux.

De son côté, M. Zambaux, soumettant le triple effet à une critique plus sévère encore, s'est efforcé de tirer un meilleur parti de la vapeur de chauffe, et de supprimer les vases de sûreté, tout en réduisant le volume de l'appareil.

Nous avons déjà insisté sur ce fait, que la vapeur n'arrive jamais dans les appareils de chauffe sans quelque mélange de gaz qui proviennent, soit directement des jus, soit surtout des rentrées d'air par des joints insuffisants.

Or, pour une même machine pneumatique et un même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rapport de vapeur et de gaz, plus sont grandes les capacités qui contiennent ce mélange et plus les gaz deviennent nuisibles, et c'est à réduire ces capacités qu'a travaillé M. Zambaux, tout en développant davantage les surfaces de chauffe. Pour atteindre ce double but, il a, comme les industriels précédents, partagé sa chaudière en trois compartiments, mais il a attribué à chacun une fonction spéciale.

Le premier, qui n'a guère plus de 21 centimètres de hauteur, est une boîte qui reçoit la vapeur de chauffe avec les gaz qui s'y trouvent mélangés; le deuxième, qui n'a guère que 10 centimètres, est une boîte où se réunissent les eaux de condensation de cette même vapeur ainsi que ces mêmes gaz; le troisième contient le liquide à évaporer et l'appareil évaporatoire proprement dit.

Comment, maintenant, est disposé cet appareil évaporatoire, comment s'échappent les eaux de condensation et les gaz?

M. Zambaux, comme ses concurrents, commence, à l'aide de tuyaux munis de robinets qu'il règle à volonté, par faire communiquer entre eux tous les compartiments moyens de ses trois chaudières, en sorte que, comme dans les appareils précédents, c'est la machine pneumatique qui les purge tous de l'eau et des gaz qui s'y accumulent sans cesse. Ensuite, sur le diaphragme supérieur il plante, en quinconce et en aussi grand nombre que possible, des tuyaux en cuivre extrêmement mince, de 0,03 de diamètre seulement et de $1^{m}20$ de longueur qui, fermés par le haut et ouverts par en bas, communiquent d'une part avec le compartiment intermédiaire, et de l'autre sont entièrement plongés dans la chaudière; ensuite, en correspondance avec ces tuyaux, il plante également, mais cette fois sur le diaphragme inférieur, des tubes de $0^{m}02$ de diamètre qui, d'une part, s'ouvrent dans la boîte inférieure et, de l'autre, s'élèvent à un centimètre près jusqu'au haut des tuyaux précédents, en les parcourant dans toute leur longueur et n'y laissant libre qu'un petit espace annulaire.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Telles sont, en ce qui touche le chauffage, les dispositions nouvelles imaginées par M. Zambaux ; on ne peut se refuser à les trouver des plus ingénieuses : en effet, la vapeur s'élançant des boîtes à vapeur dans les petit tubes, arrive bientôt au haut des grands, qu'elle parcourt alors en descendant et en se laminant dans le petit espace annulaire que laissent entre eux les gros et les petits tubes ; pendant ce temps, elle se condense d'autant mieux qu'elle passe en couche plus mince, et produit ainsi un effet utile plus complet et plus rapide : d'autre part, les gaz nuisibles se concentrant sans cesse dans les boîtes intermédiaires, dont les capacités sont très-restreintes, la machine pneumatique les enlève presque aussitôt et presque complétement, en même temps que les eaux de condensation, et, par ce fait, le vide devient plus considérable.

Malheureusement, en regard de ces avantages, n'a-t-on pas à craindre que le nettoyage des tubes étant plus difficile, ne devienne moins fréquent et qu'on ne perde ainsi dans la pratique ce que fait gagner la théorie ?

Dans une fabrique bien équipée, où l'on ne craint pas de déboulonner et d'enlever de dessus son embase une grande pièce, comme celle qui forme le compartiment des jus, et où, après avoir nettoyé les tubes, on sait bien refaire un grand joint, comme celui qui est nécessaire quand il faut la remettre en place, nous convenons que, l'appareil Zambaux offre des avantages incontestables ; mais nous ne serions pas sans crainte de le voir manié par des mains impuissantes ou inhabiles.

Cependant, quelque considérables que soient déjà les recherches de M. Zambaux sur le triple effet, il les a poussées encore plus loin. Quoique à un moindre degré, le jus de betterave mousse et monte comme le lait quand on le fait bouillir ; dès lors, il a fallu jusqu'ici réserver dans les chaudières des espaces vides immenses, et même des vases de sûreté pour se mettre à l'abri des pertes qui seraient la conséquence des entraînements par la mousse. Or, M. Zambaux a cherché un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moyen d'empêcher, ou plutôt, de détruire cette mousse, et, par conséquent, de réduire la capacité des chaudières et de supprimer les vases de sûreté.

Chacun connaît ce petit ustensile de cuisine pour empêcher le lait de monter et qui consiste en un cylindre en fer-blanc ouvert des deux bouts, ayant environ les trois quarts du diamètre de la casserole et qu'on y suspend de façon que n'arrivant guère qu'à 1 centimètre de fond, il ne s'élève pas à plus de 5 millimètres en dessus du liquide, on sait qu'alors, quand le lait commence à bouillir, au lieu de monter, il se forme un courant qui, partant du centre et du fond du vase, s'élève à la surface du liquide, puis se renverse par dehors les bords de la couronne de fer-blanc, et redescend le long des parois de la casserole, pour regagner le centre et recommencer le circuit.

Tel est le principe que M. Zambaux a appliqué avec succès à toute sorte de chaudières et, particulièrement, à celles destinées à la concentration du jus; seulement, pour éviter les projections dans les triples effets, il a poursuivi le cylindre accessoire jusqu'au dôme, où il l'a rivé, puis il y a percé des trous au niveau du liquide de façon que celui-ci et la vapeur qui l'accompagne ne se départagent, l'un pour redescendre, l'autre pour gagner le tube de départ, qu'après être passés par ces trous. Cette innovation est heureuse, en ce que la capacité laissée dans la chaudière pour le développement de la mousse a pu être réduite des trois quarts, mais il est peut-être un peu hardi d'avoir supprimé le vase de sûreté; on n'est, en effet, jamais complétement sûr d'un succès constant en pareille circonstance ; or, le moindre accident, quelque peu répété, coûte bien vite plus cher qu'un vase de sûreté. Cependant, si M. Zambaux a été un peu trop hardi, le principe qu'il a appliqué pour empêcher les chaudières de mousser n'en est pas moins destiné à rendre de grands services.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 3. — Autres procédés nouveaux.

Quant à M. J. Aders, de Magdebourg, il a, avant tout, cherché à multiplier les surfaces de chauffe, et, pour cela, il a substitué aux chaudières verticales dont les tubes ne peuvent guère avoir plus de $1^{m}20$, des chaudières horizontales de 3 mètres de longueur, mais dont les tubes, au lieu d'être rivés sur les fonds, comme dans une locomotive, n'y sont fixés qu'à joint à l'aide de deux écrous extérieurs se vissant par bout sur les tubes qui peuvent ainsi se démonter pour être nettoyés.

Nous ne connaissions pas encore cette disposition. Aussi devons-nous être très-réservé dans le jugement que nous avons à en porter. Cependant, n'est-il pas permis de se demander si, plus qu'une autre, elle ne favorise pas les rentrées d'air? Sur quoi, en effet, doit s'appuyer l'embase des écrous? c'est évidemment sur les fonds de la chaudière; or, au lieu de forcer sur l'écrou comme il arriverait, si la chaudière était sous pression, les fonds, par l'action du vide, tendent plutôt à s'en éloigner. Comment, ensuite, être toujours assuré d'un joint dans un pas de vis? enfin, le nettoyage ne devient-il pas par ce système, si long, si délicat, si dispendieux qu'on s'en abstient autant que possible, et que, par là, ou perd bien vite en conductibilité ce qu'on gagne en surface de chauffe? toutes ces craintes ne sont peut-être pas fondées, mais elles sont permises.

Pour les machines pneumatiques, à quelques détails près, elles ressemblaient autrefois à celles de nos cabinets de physique; aujourd'hui, M. Cail les a simplifiées tout en leur donnant une élégance de formes, et en leur laissant une rectitude de jeu qui les ont très-sensiblement améliorées. Ainsi, elles n'ont plus qu'un cylindre, mais il est à double effet, et son piston, qui est monté sur la même tige que celle du piston moteur, joue dans une boîte à deux compartiments où se fait l'appel des eaux de condensation, de réfrigération et des gaz;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

peut-être pourrait-on demander un organe de plus qui, ainsi que celui qu'a adopté mon fils dans sa machine pneumatique de haute précision, vient à chaque battement détruire complétement les espaces nuisibles. Cette adjonction serait facile et l'appareil y gagnerait beaucoup.

Tel est, en résumé, tant sous le rapport des procédés que des machines, l'état actuel de l'outillage adopté pour la concentration des jus; il marque un très-sérieux progrès. On y rencontre à chaque instant l'application des principes scientifiques les plus délicats et les mieux compris.

CHAPITRE IV.

CRISTALLISATION DU SUCRE.

A 20° Beaumé, le jus prend le nom de sirop. Sans parler des sels de potasse, de soude et autres, le sirop contient 66 pour 100 de sucre contre 33 d'eau, et ne cristallise que quand il ne contient plus que 14 pour 100 d'eau seulement. Par conséquent, pour arriver à la cristallisation, il faut encore concentrer le sirop (cette opération s'appelle la cuite), puis le faire cristalliser.

Il y a quelques années encore, ces deux opérations étaient très-distinctes ; une fois la cuite opérée, le sirop était mis dans de grands bacs en tôle où, pendant huit et quinze jours, en l'abandonnant à lui-même, il cristallisait, c'est-à-dire, se séparait en sucre solide ou cassonnade et en mélasses dites premières. Or, le matériel en bacs et la main-d'œuvre, les locaux nécessaires, la chaleur à laquelle il fallait les maintenir constituaient une sérieuse dépense, quand tout à coup on a trouvé un coup de main à l'aide duquel la cristallisation se fait en même temps que la cuite ; si bien que tout cet attirail s'est réduit de toute la main-d'œuvre, des 95 centièmes des

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bacs, et à un atelier de 150 à 200 mètres superficiels pour une fabrique de 130 tonnes de betteraves par jour.

C'est ce qu'on a appelé la cuite en grain, dont les résultats sont tels que, seule, elle est employée aujourd'hui.

Quant à l'appareil où s'exécute la cuite en grain, c'est toujours la chaudière d'Howard légèrement modifiée ; voici, du reste, la description qu'en donne M. Cail dans sa notice :

« Les sirops qui sortent, à 25° Beaumé (1), de l'appareil d'é-
« vaporation, ont besoin d'être concentrés dans des conditions
« particulières pour être amenés au point de cuite convenable.

« Il faut, pour empêcher la transformation d'une partie du
« sucre en mélasse, soustraire les sirops à l'action des hautes
« températures, ce que l'on obtient en entretenant dans la
« chaudière à cuire un vide de 60 à 65 centimètres de mer-
« cure.

« Il faut aussi, pour former le grain dans la chaudière même,
« pouvoir faire une première cuisson jusqu'à la consistance
« de cuite ordinaire, puis continuer l'opération par l'introduc-
« tion successive de petites quantités de sirop en surcharge,
« qui déterminent, par leur différence de température, une
« cristallisation des sirops précédemment amenés au point
« de cuite.

« La chaudière qui est exposée, construite d'après les indi-
« cations d'un brevet du 22 mai 1860, remplit le but ci-des-
« sus de la manière la plus complète. Elle est munie, à cet
« effet, de trois serpentins superposés, dans chacun desquels
« on peut introduire séparément et successivement la vapeur
« qui est employée au chauffage.

« Il en résulte qu'au fur et à mesure que l'opération s'a-
« vance, le grain formé, ayant tendance à se précipiter au fond

(1) M. Cail dit 25° Beaumé; il semblerait naturel que nous acceptassions son chiffre, mais la grande majorité des fabricants de sucre et nos propres observations nous ayant confirmé que la cuite est meilleure, sans doute parce que le noir a plus d'action sur eux, avec des sirops à 20° seulement, nous maintenons ce chiffre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« de la chaudière et venant ainsi couvrir les surfaces inférieures de cristaux mauvais conducteurs de calorique, l'ébullition des sirops qui surnagent devient possible avec les serpentins supérieurs.

« Cette introduction successive de vapeur dans les serpentins, à partir du fond, a encore l'avantage d'éviter d'avoir des surfaces chauffées en dehors du liquide et empêche la caramélisation qui se produirait sur les bords de ces surfaces.

« La faculté de produire le grain dans la chaudière même a donné d'excellents résultats; les sucres produits par ce moyen sont plus faciles à purger, sont plus beaux et donnent un rendement plus élevé par hectolitre de matière cuite.

« Tous les beaux sucres blancs qui figurent à l'Exposition de la participation Périer, Possoz et J.-F. Cail et C^ie^, (cl. n° 72), sont cuits en grains, dans ces appareils. Les lunettes-fenêtres dont est muni cet appareil dans toute la hauteur de sa calandre permettent au cuiseur de se rendre un compte facile et exact de la marche de son opération.

« L'appareil exposé peut produire 60 hectolitres de matière cuite en grains dans une opération qui dure en moyenne huit heures, avec des jus bien épurés par le procédé Périer et Possoz. Il est construit en tôle et fonte, avec des serpentins en cuivre rouge, et peut être employé indifféremment pour les sirops de betterave ou pour ceux de canne.

« Plus de trois cents de ces appareils de différentes grandeurs fonctionnent aujourd'hui dans les pays sucriers, où ils ont été montés par la maison Cail et C^ie^. »

Ajoutons, pour compléter la notice de M. Cail, que la maison Farinaux, Baudet et Bouart, de Lille, a également exposé un appareil à cuire en grains, de la plus grande beauté.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V.

SÉPARATION DU SUCRE CRISTALLISÉ DES EAUX MÈRES OU IL A PRIS NAISSANCE.

Autrefois, nous l'avons dit, la cristallisation était une longue affaire; mais il en était une autre presque aussi lente, c'était la séparation des cristaux d'avec les eaux mères; on n'y arrivait que par un long égouttage et des clerçages dispendieux dans les formes que chacun connaît : pour avoir activé et simplifié cette opération, Schuzemback, connu d'ailleurs par d'autres excellents travaux, a conquis un nom justement célèbre dans l'industrie sucrière.

Mais c'était Rolphes et Seyrigue qui, en inventant l'essoreuse à force centrifuge devaient dire le dernier mot sur ce point. Tout le monde a vu cette curieuse machine; nous ne nous y arrêterons donc que pour signaler un perfectionnement que viennent d'y apporter MM. Brissonneau, de Nantes.

Quand on essore, ou, pour nous servir du terme consacré, quand on turbine un sucre, on commence par en chasser le sirop où les cristaux ont pris naissance, puis on les lave en jetant dans la turbine, et sans en arrêter le mouvement, une dissolution sirupeuse qu'on nomme de la clerce, et qui n'est qu'une dissolution concentrée de cristaux de la même nature et qualité que ceux qui sont en traitement ; enfin, on termine par un petit jet de vapeur.

Or, jusqu'ici, les sirops et la clerce allaient se mélanger dans la même citerne, et la clerce perdait ainsi beaucoup de sa valeur, surtout dans le traitement des bas produits. C'est à séparer les sirops d'eaux mères des clerces qui leur succèdent qu'ont travaillé MM. Brissonneau.

Pour cela, au lieu de diriger, comme on l'a fait jusqu'ici, l'ouverture de sortie suivant une direction perpendiculaire au

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

corps de l'enveloppe, ils l'ont placée tangentiellement à cette même enveloppe et ont fait ainsi de l'appareil un vrai ventilateur, dont le violent courant d'air entraîne aussitôt au dehors les sirops ou les clerces dès qu'ils sortent de la toupie ; en sorte que, sans augmenter sensiblement le travail, on peut, par un simple changement d'entonnoir, diriger les sirops et les clerces, quel qu'en soit le nombre, dans des citernes séparées et arriver par là à un clerçage méthodique qui donne des résultats à la fois plus complets et moins dispendieux que l'ancien procédé.

Du travail des mélasses.

Après le sucre vient la mélasse. S'il est un produit qu'on cherche à éviter, un produit que le fabricant rougisse d'avouer, c'est celui-là ! Quand, en effet, le sucre vaut 60 francs, la mélasse n'en vaut guère que 12, et cependant elle contient pour 30 francs de ce même sucre cristallisable et pour 3 à 4 francs de salins. Aussi pourrait-on presque dire que la perfection de l'art du sucrier serait de ne pas faire de mélasse. Malheureusement, on en a toujours fait, on en fera peut-être toujours, et l'art de tirer parti de la mélasse est venu se placer à côté de l'art de faire le sucre.

C'est M. Dubrunfaut qui, sans conteste, en est le père ; il a eu des élèves ; il a eu des imitateurs ; il n'a jamais eu d'émule, ou plutôt, il a toujours été jusqu'ici l'émule victorieux de tous.

Fermentation des mélasses. — Du jour où les colonies se mirent à faire du sucre, elles firent fermenter leurs mélasse et découvrirent le rhum ; la fermentation des mélasses de betteraves n'est donc pas une invention, mais une imitation ; cependant, ces nouvelles mélasses fermentaient toujours difficilement, et leur rendement en alcool était bien loin de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

représenter la quantité de sucre qu'elles renfermaient, quoique ce même sucre fût complétement détruit.

Les alcalis sont les amis du sucre, ne cessait de répéter Dubrunfaut; les acides ne seraient-ils pas les amis de l'alcool, se demanda-t-il un jour ?

Une cuve à la mélasse est, au début, neutre et souvent alcaline, mais elle reste toujours acide après la fermentation ; il s'y forme donc, sans doute aux dépens du sucre, des acides qui neutralisent d'abord les alcalis, puis qui, continuant à se produire, inversent alors le sucre, et déterminent à ce moment la fermentation alcoolique : après cette réflexion, il n'y avait plus qu'à acidifier les cuves, c'est ce que fit Dubrunfaut. Aujourd'hui que l'emploi de l'acide sulfurique est devenu si vulgaire dans la distillation des mélasses et de la betterave, on est tenté de sourire au récit de cette grande invention ; qu'on réfléchisse ; il en est bien d'autres qui, au lendemain de la découverte, auraient mérité de faire sourire davantage et qui ont justement fait passer les noms de leurs auteurs à la postérité.

Extraction des salins. — Mais les mélasses ne contiennent pas que du sucre, elles contiennent aussi des sels de potasse et de soude en quantité suffisante pour être exploités ; c'est ce que découvrit encore Dubrunfaut. Mais c'est à Robert de Massy qu'on doit le procédé industriel pour en tirer bon parti. L'évaporation des vinasses par les procédés connus, enlevait, en effet, tous les bénéfices, quand M. Robert de Massy eut l'ingénieuse idée d'y employer l'air brûlé des autres fourneaux de l'usine. Pour cela, il versa d'abord les vinasses en pluie sur six étagères en tôle superposées dans une sorte de large cheminée qui de 6° les montaient à 25°, puis, les faisant couler dans des chaudières échelonnées qui les concentraient à 32°, il les fit rendre sur la sole d'un four à réverbère où la matière, se desséchant, s'enflammait et devenait une nouvelle source de chaleur immédiatement utilisée au profit de l'é-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vaporation (Rapport de l'Exposition de 1844, tome 2, page 787).

Mais, dans ces derniers temps, M. Porion, reprenant le principe de Robert de Massy, a supprimé les chaudières en substituant aux étagères une chambre où les vinasses sont pulvérisées par des agitateurs et qui, outre les gaz de la combustion des matières solides et des cheminées de l'usine, reçoit encore, à l'occasion, un supplément de chaleur du foyer qui, au départ, échauffe les fours à réverbère.

C'est là une heureuse simplification; cependant, on peut se demander si, profitant des masses de vapeur mélangées à l'air qui s'en va de la chambre, on n'aurait pas pu, à l'exemple de M. Kessler dans son éssorateur, obtenir une plus grande évaporation et arriver ainsi à ne plus employer de combustible supplémentaire.

Traitement des mélasses par la baryte. — Cependant M. Dubrunfaut, qui semble parfois oublier le bien, surtout quand il vient de lui, pour n'aimer que le mieux, ne se contentant pas de la distillation des mélasses, et regrettant toujours le 50 pour 100 de sucre cristallisable qu'elles contiennent, imagina d'extraire ce sucre par la baryte. C'était une belle fabrication : on aimait à voir ces masses si laides et si noires donner, en présence de la baryte, ce beau précipité si blanc, si facile à laver, qu'un peu d'acide carbonique transformait presque instantanément en un sirop limpide, pur de goût et de couleur, pendant que ces mêmes eaux de filtration, bien plus concentrées que les vinasses, livraient, sans dépense de combustible et presque sans main-d'œuvre, des masses de salin. Malheureusement, comme nous l'avons dit, le carbonate et le sulfate de baryte demandent trop de chaleur et, par suite, de combustible, pour se régénérer économiquement.

Traitement des mélasses par la chaux et l'alcool. — Après

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cette nouvelle tentative de M. Dubrunfaut, ce fut M. Pésier, habile chimiste de Valenciennes, qui, tout récemment, reprit la question. C'est par la chaux et l'eau qu'il traite les mélasses; puis, les reprenant par l'alcool, il précipite le sucrate formé et se débarrasse des sels et des autres matières par un lavage méthodique à l'alcool étendu. Pourquoi n'a-t-il pas réussi? rien n'est plus simple, plus logique que sa méthode; nous l'avons expérimentée et rien n'était plus beau que les produits obtenus. Aussi, sommes nous tenté de croire que le procédé Possoz et Périer arrivant d'un côté, et l'osmose de M. Dubrunfaut de l'autre, ont tellement détourné l'attention des fabricants qu'ils ne se sont pas suffisamment préoccupés du procédé Pésier.

Osmose. — Il y a quarante-cinq ans, Dutrochet mettait le comble à sa gloire, en découvrant l'endosmose et l'exosmose : quand dans un liquide moins dense on plonge une cellule contenant un liquide plus dense, mais soluble dans le premier, la cellule se gonfle, et réciproquement elle se dégonfle quand on opère inversement.

Ce fut notre illustre maître, Dumas, qui le premier fit à l'industrie du sucre l'application de la découverte de Dutrochet. Étant un jour dans une sucrerie des environs de Valenciennes, et voyant la résistance que le jus opposait dans la pulpe à l'action des presses, il conseilla aussitôt d'arroser la râpe avec de l'eau; incontinent l'expérience fut faite et réussit à ce point que, certainement, il est peu de personnes qui ne croient que cette tradition ne remonte à l'invention du sucre de betterave; mais c'est Champonnois qui le premier, et sans s'en douter cette fois, appliqua l'endosmose au travail des mélasses.

Au lieu de râper et de presser la betterave, il essayait d'en extraire le jus par la macération; pour cela, dans un grand tube en U, il faisait d'un côté arriver de l'eau et de l'autre de la betterave coupée, qu'à l'aide d'une chaîne munie de tam-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pons, il ramenait à l'autre extrémité ; comme en le voit, c'était un ingénieux lavage méthodique, qu'il facilitait encore en échauffant son eau par un jet de vapeur qui la portait jusqu'à 100°. Cependant, ayant eu l'idée de faire rentrer les mélasses dans le travail, il en ajouta à son eau ; de ce côté, il réussit parfaitement ; malheureusement la précipitation des écumes ne se faisant pas suffisamment bien, il fut obligé d'abandonner le procédé qui, aujourd'hui, est devenu pratique, quoique non pratiqué par suite de l'invention de la double carbonatation. Mais Graham, reprenant les travaux de Dutrochet, découvrit que quand on trempe dans de l'eau, dans de l'alcool ou dans un dissolvant quelconque, un tambour muni d'une membrane et rempli d'une dissolution de sels divers, il est de ces sels qui, à travers la membrane, s'exosmosent bien plus facilement que d'autres ; si bien que, par ce moyen, on peut en grande partie les séparer. C'est ce qu'il a appelé la *dialyse*.

Or, avec ce coup d'œil et cette hardiesse qui le caractérisent, Dubrunfaut, saisissant la découverte de Graham et l'appliquant au travail des mélasses, vient d'inventer l'osmose, un des plus grands principes industriels, qui n'est encore qu'à son aurore.

Que fait donc Dubrunfaut? Entre des cadres qu'il place dans une caisse, de façon qu'après les avoir recouverts d'un côté d'une feuille de papier sulfurique ils ne communiquent pas directement entre eux, il fait circuler, de deux en deux, de la mélasse bouillante, et de deux en deux aussi, de l'eau bouillante, de sorte que l'eau entrant dans la caisse par la case n° 1, pour continuer par toutes les cases impaires, et sortir par la dernière, la mélasse au contraire entre par l'avant-dernière case qui est de numéro pair, pour circuler par toutes les cases paires, et sortir par la case n° 2. Or, pendant ce trajet, l'eau bouillante s'endosmosant en partie dans la mélasse, pendant que les sels alcalins les plus solubles s'exosmosent de cette même mélasse dans l'eau, il arrive que ces sels ne nuisant plus à la cristallisation d'une portion du sucre qu'ils

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

retenaient jusque-là, la mélasse donne à la cuite une nouvelle quantité de cristaux qu'elle avait retenus jusque-là.

C'est ainsi que M. Camichel, habile fabricant de sucre à La Tour-du-Pin, dans l'Isère, qui, le premier a employé l'osmose, et M. Beaupère, directeur de la grande fabrique de Châlons-sur-Saône et qui, le premier après M. Périer, a adopté avec un plein succès la double carbonatation, ayant traité d'importantes quantités de mélasse, ont reconnu que cesont les sels les plus solubles, les acétates notamment, qui s'osmosent les premiers ; que, de plus, si on enlève 7 pour 100 de ces sels, c'est-à-dire le tiers de ce que les mélasses en contiennent, elles donnent alors 16 pour 100 de sucre cristallisable, c'est-à-dire le tiers également du sucre qu'elles renferment : mais ils ont remarqué qu'en allant plus loin, le sucre s'endosmosant à son tour plus vite que les sels qui restent (ce sont plus particulièrement des chlorures), il n'y a pas d'avantage à pousser l'opération au delà.

Cependant, si on fait le calcul, pour la France seulement, on trouve que pour une production de 274,000 tonnes de sucre qui engendre 137,000 tonnes de mélasse, M. Dubrunfaut, par ce tour de main, basé, il est vrai, sur les plus hautes données de la science, vient de doter son pays d'une augmentation de production qui, le jour où son procédé sera généralisé, s'élèvera à 22,000 tonnes et représentera, déduction faite du prix des mélasses absorbées, une valeur de 7,700,000 francs, c'est-à-dire une bonification de plus de 7 pour 100 sur le prix de la betterave employée.

Comme on le pense bien, une découverte aussi inattendue éveilla l'attention, mais les uns en doutèrent, les autres n'osèrent s'outiller ; pour tous, il y avait un tel mystère que peu eurent l'audace de s'avancer, et encore, parmi ceux-là, il y eut des maladroits qui firent peur aux autres ; si bien qu'aujourd'hui qu'il n'y a plus à douter, il n'y a que très-peu de fabricants qui osmosent leurs mélasses ; espérons que bientôt la lumière s'étant faite, chacun, si nul procédé meilleur n'intervient,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

viendra prendre sa part des nouveaux bienfaits dont celui-ci est la source.

Rentrée des mélasses dans le travail des betteraves. — Or, ce procédé pourrait bien intervenir. Quand M. Champonnois essaya la macération et ultérieurement la rentrée des mélasses dans le travail, la vraie difficulté qui l'arrêta fut la lenteur avec laquelle les écumes se déposaient à la défécation ; mais une fois la double carbonatation découverte, il songea que les jus devant s'éclaircir, en toutes circonstances, le problème devant lequel il avait échoué pourrait bien trouver une solution ; néanmoins, abandonnant pour le moment la macération, il se contente d'arroser la râpe d'une solution de mélasse, tout en y lançant un courant de vapeur pour cuire la pulpe, qui, sans cela, faute de la coagulation de l'albumine, ne fixerait pas les sels.

Le succès est-il complet ? M. Champonnois l'affirme, et nous sommes tenté de le croire : ses belles découvertes lui servent de garantie.

Tels sont les principaux travaux sur le travail des mélasses : l'addition de l'acide sulfurique pour en faciliter la fermentation ; l'extraction économique des salins ; l'extraction de leur sucre cristallisable par la baryte ; leur traitement par la chaux et l'alcool ; l'osmose ; leur rentrée dans le travail par fixation de leurs sels dans la pulpe elle-même, forment un contingent d'efforts qui tous sont marqués au sceau de la plus grande érudition et de la plus énergique initiative.

CHAPITRE VI

DU NOIR ANIMAL.

Pour être moins abondamment employé dans l'industrie du sucre, le noir animal reste cependant un de ses agents les plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

précieux. Il ne faut pas oublier, en effet, que de tous les sels que peut contenir un jus de betteraves, le sucrate de chaux est un de ceux qui nuisent le plus à la cristallisation.

Or, quoi qu'on fasse, l'acide carbonique ne le décompose pas jusqu'à la dernière trace, tandis que le noir, comme l'a démontré notre éminent confrère M. Payen, jouit de cette précieuse et singulière propriété : il fixe la chaux et met le sucre en liberté. Par conséquent, bien que le noir animal ne soit pas indispensable dans le procédé Possoz et Périer, il est encore si utile, au point de vue de l'absorption plus ou moins complète de certains sels alcalins et de la décomposition des dernières traces de sucrate, qu'on doit en maintenir l'emploi et, dès lors, chercher à perfectionner les procédés de sa fabrication et de sa révivification.

Les procédés pour fabriquer le noir et le granuler sont des plus simples et ne semblent pas s'être modifiés depuis un temps déjà bien long ; mais il n'en est pas de même de ceux qui tendent à le révivifier. Qui a inventé la révivification ? Nos recherches à ce sujet sont restées infructueuses ; il semble que ce soit une idée qui appartienne à tous sans appartenir à personne.

Bien avant, en effet, qu'on n'ait industriellement révivifié le noir, on le savait révivifiable en certaines circonstances, d'ailleurs mal déterminées ; mais ce n'est qu'à partir de 1827, lorsque Dumont, simple confiseur, ayant observé que le jus passé sur des noirs en grains se décolore encore mieux que quand on y mélange le noir en poudre, eut inventé les filtres qui portent toujours son nom, que la révivification devint une pratique industrielle qui fut étudiée avec soin.

La révivification comporte toujours quatre opérations différentes : la fermentation ; le lavage avec ou sans acide ; la dessiccation et la calcination ; la décortication.

Fermentation. — La fermentation dépend tout à fait de la nature des matières absorbées, et, suivant qu'elle est plus ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moins complète, que les produits qui en résultent sont plus ou moins volatils, ou au moins solubles et peu absorbables par le noir, elle produit un plus ou moins grand effet. C'est donc à obtenir des produits de ce genre que tendent les fabricants de sucre. Cependant, comme dans la pratique, ainsi que nous venons de le voir, il faut toujours laisser le noir absorber une certaine quantité de chaux, c'est sur la fermentation acétique des matières organiques que l'on compte pour se débarrasser, en grande partie du moins, de cet alcali si nuisible. D'après cela, la fermentation est donc une opération qui, bien que simple, doit être surveillée avec soin et conduite avec prudence : une température insuffisante qui n'y développerait pas assez d'acide acétique, comme une trop élevée qui rendrait les matières infermentescibles, doit donc être évitée. Quant à l'outillage, elle n'en exige aucun ; aussi nous ne nous y arrêterons pas plus longtemps.

Lavage. — Le lavage s'exécute soit dans une auge où tourne une hélice, soit dans un cylindre avec rebords rentrants et monté horizontalement sur son axe ; dans les deux cas, le noir est introduit par un des bouts de l'appareil pour sortir par l'autre, pendant qu'un courant d'eau suit le chemin opposé, en sorte que le lavage est méthodique.

Le cylindre doit évidemment être préféré à l'auge, car il permet au noir de se frotter plus régulièrement sur lui-même, de façon qu'il s'en détache à la superficie juste ce qui est nécessaire pour renouveler les surfaces, sans l'user inutilement, et surtout, sans le broyer en partie, comme le fait l'hélice qui écrase tous les grains qui se prennent entre elle et les parois de l'auge.

MM. Farinaux, Baudet et Boire, de Lille, viennent de construire le laveur à cylindre dans des conditions qui méritent de fixer l'attention des fabricants de sucre et des révivificateurs de noir.

Calcination.— Une fois lavé et égoutté, le noir est desséché

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à fond et calciné. A voir les os cuire, on pourait croire que la calcination du noir est une opération qui ne demande ni soin ni dépenses; il n'en est rien pourtant, elle est au contraire des plus délicates. Les os se fournissent à eux-mêmes leur propre combustible : ce sont les gaz et les vapeurs abondantes qui s'en dégagent, tandis que le noir, surtout quand il a été bien ménagé, bien fermenté, bien lavé, ne fournit que peu de gaz ; malheur au fabricant à qui il en fournirait beaucoup : ce serait le signe certain d'une mauvaise révivification. Dès lors, pour le calciner il faut employer du combustible, et au point de vue de l'économie il faut déjà que de ce côté les appareils soient bien disposés. A raison de leur surface moindre par rapport à leur volume, les os ne craignent, relativement, qu'assez peu un coup d'air qui ne les blanchit qu'à la surface seulement, tandis que le noir, qui est en petits grains, serait immédiatement traversé, brûlé, anéanti par ce même coup d'air : à la cuisson des os, il faut tout à la fois éviter les incuits et les trop cuits ; les uns laissent des matières empyreumatiques nuisibles, les autres donnent du noir qui par le frittement qu'il a éprouvé voit diminuer sa puissance.

Or, les matières organiques des os sont décomposées vers 500°, et ce n'est guère que vers 900° que se frittent les os. La limite entre les incuits et les trop cuits est donc très-grande, mais pour le noir, c'est autre chose; en effet, parmi les matières organiques qu'il absorbe, il en est qui ne se décomposent que bien au-dessus de 500°, tandis que le calcaire et les autres alcalis dont il se charge avancent d'autant plus le degré où il se fritte qu'il est plus vieux ou bien qu'il a été moins ménagé. De là, la nécessité d'appareils, qui, tout en économisant le combustible, restent parfaitement étanches d'air et se tiennent dans les limites étroites de température où la cuisson doit se faire.

M. Champonnois, en 1862, a donné l'appareil dont on suit encore le principe ; mais dans ces derniers temps cet appareil a été perfectionné d'une part par M. Blaise, dont la fille

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exploite avec une rare intelligence les brevets, et d'autre part par MM. Du Rieux et Rœttger.

L'appareil Champonnois consistait en quatre tuyaux de fonte disposés en jeu d'orgue, de 15 centimètres de diamètre environ sur 1^{m} 50 de hauteur, dans lesquels on chargeait le noir par le haut pour le vider par le bas à l'aide d'un registre qui, faisant fonction de robinet, permettait de n'en extraire que la quantité convenable. De plus, un foyer placé latéralement à 80 centimètres de hauteur, chauffait la partie supérieure des tuyaux où le noir se cuisait, pendant qu'à la partie inférieure daus laquelle il finissait par arriver à la suite de soutirages successifs, il se refroidissait à l'abri du contact de l'air ; des registres, d'ailleurs bien disposés, permettaient de régler le feu à volonté.

M. Blaise, étudiant le four Champonnois, vit qu'on pouvait augmenter le nombre des tuyaux sans brûler plus de combustible et augmenter sensiblement la main-d'œuvre, il chercha ensuite à utiliser la chaleur perdue au profit de la dessiccation du noir : enfin, remarquant que les tuyaux de fonte se détérioraient rapidement par le feu, il les remplaça dans la longueur où ils sont chauffés par des tuyaux en terre qu'il émailla, afin de les rendre imperméables à l'air.

Quant à MM. Du Rieux et Rœttger, ils disposèrent le foyer dans une voûte à réverbère, renvoyant la chaleur sur les tubes à travers des piliers réfractaires destinés à préserver des coups de feu ; ils grossirent d'abord les tuyaux, et, y introduisant d'abord des os, ils emplirent les interstices laissés par eux avec du noir vieux, en sorte que tout à la fois ils fabriquent du noir neuf, en même temps qu'ils en revivifient du vieux. Cependant, profitant des produits de la distillation des os en les brûlant dans le foyer, ils obtinrent une économie sur le charbon précédemment employé ; enfin, à l'aide de vagonnets roulant sur des rails, ils réduisirent encore la main-d'œuvre. Comme on le voit, le four Blaise est un simple four de révivification, destiné plus spécialement aux fabricants qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

revivifient eux-mêmes, tandis que le four Du Rieux et Rœttger est plutôt un four de grande fabrication. Tous deux méritent, du reste, l'estime que l'on en fait.

Décortication. — Après la calcination, vient le décorticage; le nom indique assez que l'opération a pour but d'enlever, si ce n'est la pellicule, puisqu'ils n'en ont pas, mais un peu de noir à la superficie des grains, afin d'en renouveler la surface. Un bon lavage au cylindre, surtout avec un peu d'acide, se substitue en grande partie à cette opération. Cependant il est parfois des noirs trop résistants pour qu'elle soit suffisante.

Or, M. Hennion a inventé un petit moulin qui, tout à la fois, peut concasser le noir neuf et décortiquer le vieux. C'est une broyeuse horizontale à cylindres coniques, analogue à un des modèles employés par les chocolatiers. Seulement, tandis que, chez les chocolatiers, toutes les surfaces sont lisses, chez M. Hennion, elles sont toutes cannelées ; réduit à cet état, l'appareil ne fait que concasser, et, pour décortiquer, il faut y ajouter un râteau ou traîneau fixé à la suite d'un des cônes et qui, suivant le poids dont il est chargé, agit plus ou moins rapidement sur les surfaces du noir, en sorte que suivant la dureté du noir sur lequel on opère, on fait varier le poids.

CHAPITRE VII.

DE LA FABRICATION DE L'ACIDE CARBONIQUE ET DE LA CHAUX.

Quand Barruel inventa l'injection de l'acide carbonique dans le jus, il produisit son acide en refoulant de l'air dans un poële en fonte, rempli de charbon préalablement allumé et hermétiquement clos. Plus tard, quand MM. Rousseau reprirent le procédé de Barruel ils suivirent, à peu de chose près ses errements. Mais, lorsque M. Dubrunfaut arriva à traiter les mélasses par la baryte, l'acide carbonique devenant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

une importante affaire, il alla le chercher dans le four à chaux de la sucrerie dont il travaillait les mélasses. Dès lors, héritant non-seulement de l'acide carbonique provenant de la combustion, mais encore de celui dégagé par les calcaires, il obtint aussitôt un gaz riche à 42 pour 100, au lieu de 21 que contenait celui de Barruel et qui, à raison de sa plus grande richesse, produisait un effet proportionnellement bien plus considérable. Depuis ce moment, le principe de Dubrunfaut pour la production de l'acide carbonique a toujours été suivi; mais M. Alfred Perret, l'auteur du décanteur méthodique, vient d'en améliorer tellement les dispositions, qu'il mérite une mention particulière.

Le four de M. A. Perret est continu et formé d'un cylindre vertical en tôle, garni à l'intérieur de briques réfactaires; son sommet est couronné par une trémie conique fermée par un obturateur, qui, à l'aide d'un bras de levier, s'ouvre de *dehors en dedans*; c'est par cette trémie qu'on introduit les charges successives qui sont formées, en volume, d'un mélange de une partie de coke, contre deux à trois de calcaire, cassé à la grosseur de la pierre de route. Pour que cette introduction ait lieu, il faut, une fois le mélange versé dans la trémie, ouvrir l'obturateur et le fermer aussitôt après et avec soin. La grille sur laquelle vient s'arrêter la charge est d'ailleurs mobile à l'aide d'engrenages qui permettent d'en régler la décharge. De plus, par un tube pris sur le cylindre à la hauteur convenable, le four communique avec un laveur vertical rempli d'eau à la hauteur nécessaire, que les gaz traversent sous l'aspiration d'une machine soufflante, qui, simultanément, les refoule aux chaudières à déféquer. C'est donc cette aspiration qui détermine le courant d'air dans le four et y entretient la combustion, qu'on ralentit ou qu'on active suivant les besoins de l'usine.

Un petit four de ce système, ayant 5 mètres de hauteur sur 1^{m} 30 de diamètre seulement, suffit à la double carbonatation de 700 à 1,000 hectolitres de jus par vingt-quatre

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

heures. Mais ce qui, à nos yeux, le rend encore plus précieux, c'est la propriété dont il jouit de pouvoir cuire des graviers calcaires; nombre de rivières, en effet, qui traversent des pays où la chaux fait défaut et où elle constituerait cependant un amendement de premier ordre, roulent des graviers de ce genre, qui, avec le four de M. Perret et un petit moteur hydraulique, peuvent aujourd'hui être employés au grand profit de l'agriculture.

CHAPITRE VIII.

DE LA QUALITÉ DES BETTERAVES EMPLOYÉES EN SUCRERIE.

§ 1. — Observations générales.

Il est en sucrerie un axiome, c'est que de deux betteraves la plus riche donne proportionnellement plus de sucre que la plus pauvre. Ainsi une betterave titrant 14 donnera plutôt 9 de sucre, que n'en donnera 6 une betterave titrant 10. *A priori*, l'intérêt du fabricant serait donc de ne travailler que des betteraves très-riches.

C'est ce qu'on fait, en effet, en Allemagne et en Russie, tandis que c'est le contraire en France et en Belgique. Faut-il donc croire que la France et la Belgique ne puissent fournir des betteraves aussi riches que l'Allemagne et la Russie? Vilmerin a démontré le contraire; ses expériences ont été confirmées par nombre de cultivateurs, et nous pouvons dire que nous-même nous avons livré pendant plusieurs années de suite à la sucrerie de Tournus, dans le département de Saône-et-Loire, des betteraves titrant de 12.50 à 13.50 suivant les années, sans cependant avoir fait autre chose que de semer les graines qui nous étaient livrées par la sucrerie. Pourquoi donc alors en France et en Belgique n'imite-t-on pas l'Alle-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

magne et la Russie? C'est que pour avoir des betteraves riches il faut tout à la fois choisir les terrains, les variétés de graines, suivre certains assolements, renoncer à certains modes de fumure, se contenter de petits rendements, et par suite payer au cultivateur la betterave bien plus cher. Mais pourquoi l'Allemagne et la Russie suivent-elles d'autres errements? A entendre les deux parties, ce serait parce qu'au lieu de porter sur le sucre, l'impôt porterait sur la betterave, et que pour diminuer l'impôt on enrichirait la betterave. Et il en est d'autres qui ajoutent: C'est parce qu'en Allemagne et en Russie les terres sont à bon marché et qu'on n'a pas besoin de leur demander autant d'intensité.

Nous n'aimons pas les mauvaises raisons, et celles-là sont mauvaises au premier chef. Nul gouvernement n'est hostile au bien de ses sujets; il le serait au sien propre: or, la loi allemande, que nous ne souhaitons pas pour la France à cause de la distillerie, aurait été changée déjà depuis longtemps si elle était hostile au bien du peuple allemand; et la Russie, qui est venue la dernière, ne l'aurait pas copiée; elle eût pris la nôtre qui n'eût pas été plus gênante pour elle, puisqu'à raison des grandes quantités d'eau-de-vie de grains qu'elle fabrique, elle a un service de contributions indirectes tout aussi bien organisé que chez nous.

Quant à ce qui touche à la valeur des terres, c'est encore pis: la betterave, quel que soit son mode de culture, exige des frais généraux fort élevés de labour, de sarclage, de semaille, d'arrachage, qui sont communs aux gros comme aux petits rendements et coûtent le même prix. Dès lors, en Allemagne comme en France, il y aurait intérêt à les répartir sur de grosses récoltes plutôt que de les concentrer sur de petites: le bon marché de la terre n'a donc non plus rien à faire dans la question, qui reste entière. Dès lors, abondonnant ces opinions toutes faites et dans lesquelles chacun endort volontiers sa paresse, recherchons le prix auquel l'industrie pourrait, en France et en Belgique, payer des betteraves ri-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ches, et si à ce prix l'agriculteur aurait avantage à les lui fournir.

Des expériences plusieurs fois répétées en Allemagne, en France et en Belgique, et faites par les hommes les plus compétents, ont établi que dans les quatre cinquièmes des cas et par la culture triennale, quand un sol ensemencé avec de la graine de Silésie dite acclimatée rend en tête d'assolement et avec 60. tonnes de fumier, 45 tonnes à l'hectare de betteraves riches, de 9 à 10 pour 100 de sucre, il en produit à la troisième année, et surtout sans addition de fumier, 20 tonnes riches à 14, 15 et jusqu'à 17 pour 100.

D'autre part, tandis qu'il faut toute la perfection des nouveaux procédés pour tirer 6 pour 100 de sucre de betteraves riches à 10, l'on en extrait facilement 9 pour 100 de betteraves riches à 14 pour 100, quand elles ont poussé dans les conditions que nous venons d'indiquer. Cependant, dans un cas comme dans l'autre, on ne fait pas plus de mélasse.

§ 2. — Comptes d'industrie et d'agriculture.

Partant de là, nous allons établir les deux comptes sur les données que résume le tableau suivant, et qui sont loin d'être défavorables aux agriculteurs et aux industriels français ou belges.

BETTERAVES.

Betteraves à l'hectare.....	45 tonnes	à 10 p. %	20 tonnes	à 10 p. %
Prix des betteraves.....	22 francs	—	à déterminer.	
Pulpes produites (1/5 du total)	9 ton. 1/5	—	4 tonnes	—
Valeur des pulpes, la tonne.	14 francs	—	14 francs	—
Sucre produit par tonne.....	60 kilog.	—	90 kilog.	—
Prix du sucre, la tonne.....	600 francs	—	600 francs	—
Mélasse produite par tonne...	30 kilog.	—	30 francs	—
Prix de la mélasse, la tonne.	120 francs	—	120 francs	—

Enfin, nous admettrons que des deux parts on travaille le même poids de betteraves, que par conséquent la main-d'œu-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vre, le combustible, l'outillage et les autres frais d'extraction sont les mêmes ; mais nous calculerons les bénéfices du fabricant à 10 pour 100 sur ces frais-là avec les betteraves pauvres, et à 15 avec les riches.

COMPTE INDUSTRIEL SUR LA TOTALITÉ DE LA PRODUCTION FRANÇAISE.

BETTERAVES A 10 POUR 100.

Rendement en sucre....	274,000 tonnes à 600 fr. l'une..	164,400,000
— en mélasse.	137,000 — à 120 — ..	16,440,000
— en pulpes...	913,333 — à 14 — ..	13,700,000
	Total des recettes.....	194,540,000
Betteraves employées (4,566,666 tonnes à 22 fr.).....		100,500,000
Frais d'extraction, intérêts et bénéfices compris.....		94,040,000
Intérêts et bénéfices (10 pour 100 sur la somme précédente)		9,404,000
Frais d'extraction nets.....		84,636,000

BETTERAVES A 15 POUR 100.

Rendement en sucre....	411,000 tonnes à 600 fr. l'une..	246,600,000
— en mélasse..	137,000 — à 120 — ..	16,440,000
— pulpes.....	913,333 — à 14 — ..	13,700,000
		276,740,000
Frais d'extraction comme dessus.....		84,636,000
Bénéfices à 15 pour 100 calculés sur le chiffre ci-dessus.		14,106,000
		98,742,000
Valeur des betteraves (4,566,666 tonnes).....		164,298,000

Ce qui porte la betterave à 38 francs la tonne au lieu de 22 francs.

§ 3. — Compte agricole.

La betterave dévore les deux tiers de son poids de fumier. Le fumier calculé en partant du prix du guano, et établissant l'équivalence d'effet, vaut 10 fr. 50 la tonne, rendue et répandue sur le champ. Le cultivateur reprend en pulpes le cinquième du poids des betteraves qu'il a livrées et à raison de 14 francs la tonne. Ces pulpes représentent comme nour-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

riture le tiers de leurs poids en foin normal calculé au prix de 40 francs la tonne (prix de ferme élevé).

Ces pulpes, après avoir été consommées, donnent les deux tiers de leur poids de fumier, qui, ainsi, fait en partie retour à la ferme et est évalué comme plus haut 10 fr. 50 la tonne.

Le chargement des betteraves au champ, leur conduite à la fabrique, le déchargement et autres menus frais sont évalués à une moyenne de 2 fr. 50 c. la tonne. (Toutes ces opérations se font dans un moment de presse et souvent par le mauvais temps.)

COMPTE D'UN HECTARE A 45 TONNES.

Fumier consommé.....	30 tonnes à	10f 50c			— 315f »c
Betteraves.....	45	—	22 »	+ 990		
Transport des betteraves.....	45	—	2 50		— 112 50
Achat de pulpes.....	9	—	14 »		— 126 »
Pulpes, valeur, fourrage.....	3	—	40 »	+ 120		
Fumier des pulpes.....	6	—	10 50	+ 63		
				+ 1,173	— 553 50
Différence au profit du fermier.....				+ 620		

COMPTE D'UN HECTARE A 20 TONNES.

Fumier consommé	13.33	tonnes à	10f 50c		— 140f »c
Betteraves	20	—	38 »	+ 760		
Transport des betteraves..	20	—	2 50		— 50 »
Achat des pulpes.....	4	—	14 »		— 56 »
Pulpes, valeur, fourrage...	1.333	—	40 »	+ 53		
Fumier des pulpes.....	2.666	—	10 80	+ 28		
				+ 841	— 246 »
Différence au profit du fermier				× 595		

D'après ce compte, avec 20 tonnes de betteraves à 38 francs, il y aurait donc *à priori* une perte de 25 francs pour le fermier sur un rendement de 45 tonnes à 22 francs.

Or, il faut se souvenir que la betterave est extrêmement avide de sels minéraux précieux et qu'elle en prend non en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

raison de sa richesse, mais de son poids; par conséquent, de ce fait seul, qui n'est que trop prouvé dans le nord de la France et en Belgique, il résulte que le cultivateur aurait intérêt à perdre les 25 francs établis par la comparaison des comptes. Mais, bien plus, au lieu de perdre quelque chose, il gagne même beaucoup : si, en effet, du fumier marqué en dépense, on déduit le fumier marqué en recette, on voit que la récolte de 45 tonnes en exporte à tout jamais 24 de la ferme, tandis que la récolte à 20 tonnes n'en exporte que 11 : c'est donc une bonification de 13 tonnes, qui, à 10 fr. 50 c., fait 136 francs, c'est-à-dire qu'avec 20 tonnes de betteraves à 38 francs au lieu de 45 à 22 francs, le cultivateur réaliserait un profit de 111 francs.

Ainsi, du côté du cultivateur comme de celui de l'industriel, il y a donc intérêt à abaisser le rendement au profit de la richesse.

Cependant il en est qui vont dire : Ce système est peut-être vrai, mais il sacrifie le bétail ! C'est encore là une erreur, car c'est le contraire qui arrive. D'après le compte, le fermier perdrait, en effet, 1.66 tonnes de fourrage, mais il a un excédant de 13 tonnes de fumier qui lui assurent toujours 6.5 tonnes de fourrage ou 500 kilogrammes de blé avec 1,250 kilogrammes de paille. En sorte que de ce côté il y a toujours profit. Ainsi, augmentation de 50 pour 100 dans la production du sucre et dans les bénéfices du fabricant; augmentation de 111 francs par hectare pour le cultivateur ; augmentation de plus de 100 pour 100 de la viande produite du fait des pulpes.

Telle serait la conséquence de la substitution du système allemand au système français.

Les expositions sont de grands enseignements que se donnent mutuellement les peuples; dans l'industrie du sucre comme dans beaucoup d'autres, la France y a toujours apporté son large contingent de lumières; cette fois encore ses méthodes et son outillage perfectionnés lui assurent une belle place, qui peut-être même est due à ce préjugé qu'elle a en faveur des betteraves pauvres et qui l'a obligée à faire plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'efforts : mais au lieu de toujours inventer, elle ferait bien aussi d'imiter quelquefois des voisins justement renommés pour leur haut savoir agricole.

Il ne faut pas qu'elle oublie qu'en fait d'agronomie, si nous sommes les émules de l'Allemagne, il n'y a pas longtemps que les plus savants d'aujourd'hui n'étaient que ses élèves. Cependant, il serait injuste de laisser croire que ces réflexions viennent de nous seul : non, il est des hommes éminents qui se préoccupent en cet instant de cette grande question.

Il y a vingt ans déjà, M. Champonnois a démontré que la betterave cultivée sur billons donnait autant de produits et des produits plus riches ; malheureusement, les outils manquaient à cette époque pour la cultiver. Depuis, M. Rousselet dans le Châtillonnais, et plus tard M. Meugnot, l'habile constructeur dijonnais, reprenant la question, ont inventé pour la résoudre de remarquables instruments aratoires. Toutefois, voilà M. Champonnois, d'une part, et M. Decrombecque, de l'autre, qui, y revenant de nouveau, se promettent de la résoudre : M. Champonnois, dès le 15 août 1867, nous a montré des betteraves qui, titrant 13. 5 pour 100 de sucre, avaient 7 centimètres de diamètre sur 16 à 18 de longueur et se comptaient déjà par 50 tonnes à l'hectare. Peut-on considérer ce produit comme normal ?

M. Champonnois et M. Decrombecque ont fait de belles et grandes choses en agriculture et en industrie : que leurs expériences se changent en réalités, et ils n'auront peut-être jamais rendu de plus grand service à l'industrie sucrière.

CHAPITRE IX.

RÉSUMÉ.

En résumé, dans presque tous ses détails, l'outillage de la sucrerie de betterave a été grandement perfectionné.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le laveur est devenu d'un service plus facile, et il débarrasse les betteraves des pierres si nuisibles à la râpe. Une nouvelle râpe travaille avec moins d'effort et plus de précision. Les presses ont atteint un haut degré de perfection.

Une nouvelle méthode de défécation qui donne des résultats plus sûrs, un rendement plus élevé, des sucres directement livrables à la consommation, a été découverte; les appareils qu'elle réclame répondent parfaitement aux nouveaux besoins.

Une presse à écume, qui réalise une des conceptions les plus originales, est venue répondre à un besoin pressant.

L'appareil à triple effet qui, en 1855, était une grande nouveauté, s'est répandu partout, tout en s'améliorant dans d'importants détails.

On a appris à granuler le sucre dans la chaudière même.

L'essoreuse a subi un notable perfectionnement.

La dyalise, sous le nom d'osmose, extrait des mélasses le tiers du sucre cristallisable.

Le four à extraire le salin a été simplifié :

Le noir animal est mieux revivifié.

L'acide carbonique et la chaux sont produits dans de meilleures conditions.

La culture de la betterave laisse seule à désirer.

En une aussi courte période, peu d'industries, certainement, auront réalisé de pareils progrès : main-d'œuvre, économie de combustible, sûreté dans les moyens, augmentation de rendement, rapidité de travail, meilleure qualité dans les produits; partout où elle a porté ses investigations, partout ses efforts ont été couronnés de succès.

Déjà en France et en Belgique la production dépasse la consommation ; en Allemagne elle va l'atteindre, en Russie elle augmente rapidement.

Que serait-ce, si, partout, un lourd impôt ne venait l'entraver? Élément fécond de travail, source de jouissances utiles, cause d'enrichissement d'un grand nombre, préservatif puissant contre les famines, nulle industrie, peut-être, ne mérite à un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pareil degré de fixer l'attention de tous les gouvernements.

Qu'ils décrètent des impôts de consommation, c'est peut-être une nécessité ; mais quand leur produit, au lieu de l'absorber tout entier en dépenses, souvent très-critiquables, qu'ils en fassent profiter ceux qui les payent, en dégrevant des industriels qui sont d'un intérêt aussi général que la fabrication du sucre de betterave. Dans ces conditions, la prospérité de l'Etat tournerait à l'avantage des masses, et les industriels redoubleraient d'efforts pour entrer dans les voies des améliorations.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

PÉTRISSEURS MÉCANIQUES

PAR M. LEBAUDY.

§ — Considérations générales sur la fabrication du pain.

Le pain, pour tous les besoins de l'Exposition, a été produit dans les deux boulangeries françaises situées dans le parc, avenue de Labourdonnaye. La première faisait partie de la Manutention civile et militaire, où se trouvaient réunis un moulin avec moteur à vapeur et à gaz, plusieurs fours et plusieurs pétrins mécaniques de différents systèmes, le tout fonctionnant sous les noms de MM. Plouin et Vaury. La seconde, ayant pris le titre de *Boulangerie générale de l'Exposition*, représentait tout à fait un établissement de boulangerie de Paris; mais son but était la démonstration du système complet de pétrissage mécanique *Louis Lebaudy*. Le pain a donc été, pour la première fois, fabriqué dans une Exposition et en présence des visiteurs. C'est un fait à signaler, par cette raison que si le pétrissage des pâtes avait été fait à bras d'hommes et non pas dans des pétrins mécaniques, il n'eût pas été convenable d'admettre le public dans ce qui s'appelle le fournil.

Pour bien faire comprendre les avantages du *pétrissage mécanique*, voyons d'abord comment on fait le pain en pétrissant à bras. L'ouvrier se déshabille complétement, et son costume de travail se compose simplement d'une cotte ou jupon et d'une paire de savattes. Il commence par vider dans le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pétrin en bois un sac de farine de 157 kilogrammes avec lequel il devra produire 200 kilogrammes de pain en faisant absorber à cette farine 43 kilogrammes d'eau, sans compter ce qui s'évapore pendant la cuisson.

Nous supposons que le levain est prêt et que l'ouvrier doit pétrir sa fournée. Le voilà se pliant, pour travailler avec ses mains et ses bras, dans le fond du pétrin. Il délaye son levain et ensuite ajoute la farine; sa tête, plongée dans le pétrin, disparaît dans un nuage de farine, et alors il siffle et geint, pour empêcher la farine d'entrer en trop grande quantité dans ses poumons. Mais bientôt la pâte prend de la consistance. La fermentation se produit, et si l'ouvrier ne donne pas promptement toute sa force au mélange du levain, de la farine et de l'eau, si, par un excès de fatigue ou par paresse, il bloque sa farine, le pain sera lourd et le rendement trop faible. Mais s'il veut travailler consciencieusement, il soulève sa pâte, l'allonge, la bat, la découpe, ses efforts le mettent en transpiration, la sueur coule le long de son corps et de ses bras pendant trente à quarante minutes que dure le pétrissage. Enfin, quand la pâte est faite et qu'il se relève, il est exténué et fait peine à voir.

Ce travail des pâtes à bras est certainement celui qui éprouve le plus la vigueur de l'homme en l'épuisant par la transpiration. L'ouvrier pétrisseur veut retrouver ses forces par les boissons alcooliques, mais il est entraîné à en abuser, et cet abus le conduit à des dérèglements qui abrègent sa vie, tout autant que le travail excessif et énervant de son métier. A trente-cinq ou quarante ans, il n'a plus la force voulue pour pétrir, et tous les savants et médecins qui se sont occupés de l'hygiène des artisans, ont signalé comme insalubre la profession d'ouvrier boulanger. Pour le boulanger patron qui doit se rendre compte tous les matins du rendement de sa farine en pain et de la fabrication, le pétrissage à bras présente beaucoup d'inconvénients ; il manque d'abord de régularité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le pain blanc de Paris, quand la pâte a été bien manipulée, et que le degré de cuisson a été convenable, peut contenir 32 à 37 pour 100 d'eau. Sous le régime de la réglementation, on taxe sur un rendement de 130, c'est-à-dire 30 pour 100 d'eau; mais ce rendement, qui paraît être au-dessous de ce qui est possible, le boulanger-patron ne le trouve que rarement en pain livré au poids, car, selon que l'ouvrier donnera ou ne donnera pas toute sa force au pétrissage, le rendement sera plus ou moins élevé. Mais en admettant la meilleure volonté de bien faire, dans l'intérêt du patron, le travail énervant de la pâte paralyse l'énergie du pétrisseur.

Une question qui n'est pas indifférente aux consommateurs, c'est la propreté. Elle est plus que problématique chez les ouvriers ; il ne suffit pas de dire: La cuisson ou le feu purifient tout.

Cet inconvénient disparaît dans le pétrissage mécanique, et voici ce que M. Barral dit dans son livre : *Le Blé et le Pain,* page 287. « Tout ce que présente de barbare et de « dégoûtant la boulangerie actuelle peut disparaître par une « bonne application des moyens mécaniques; un meilleur « rendement de la farine peut être obtenu sans forcer les « proportions d'eau. »

§ 2. — Procédés divers de pétrissage mécanique.

Depuis bien des années, un grand nombre d'inventeurs ont imaginé des pétrins que les ouvriers tournaient avec les bras, ce qui d'abord ne leur plaisait pas. Ces essais ont échoué ou n'ont pas eu de suite. Ces pétrins, du reste, étaient plutôt des malaxeurs. Le pétrin mécanique exige un moteur à vapeur à eau ou à gaz; tourné à bras, il ne présente pas d'économie. M. Boland, ancien boulanger, qui a beaucoup fait pour le progrès de la panification, a été le premier inventeur sérieux qui ait présenté, en pratique, un pétrin construit pour bien fonctionner, et ce pétrin a été adopté par la boulangerie des hospices

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la ville de Paris, où il fonctionne depuis 1853. Mais il a un défaut que M. Boland a été le premier à reconnaître dans son livre sur la boulangerie (livre très-remarquable et excellent manuel pour les hommes du métier). La fermentation de la pâte n'est pas aussi sûrement obtenue pendant le pétrissage que par le travail à bras. MM. Thilloy et Cowley ont exposé des pétrins du même système en annonçant leurs perfectionnements, mais ils n'ont pas fonctionné à l'Exposition.

M. Fleschelle, boulanger, rue Notre-Dame-de-Nazareth, a imaginé, vers cette même époque, 1853, un pétrin avec bassin tournant, dans lequel la fermentation se produit très-bien, mais ce pétrin n'ayant pas de moteur et étant tourné à bras, les instruments travailleurs sont combinés pour agir sur la pâte, de manière à ne pas présenter une résistance au-dessus de la force de l'homme. Cependant, cette invention du bassin tournant à triomphé, et les deux pétrins qui seuls ont fonctionné à l'Exposition universelle de 1867, et pendant toute sa durée: le pétrin Deliry, dans la manutention Plouin et Vaury, et le pétrin Lebaudy, dans la *boulangerie générale de l'Exposition*, ont adopté le bassin tournant dû à l'initiative de M. Fleschelle.

Pour bien faire comprendre la difficulté d'obtenir, par un pétrin mécanique, la pâte aussi parfaitement réussie que par les manipulations des hommes, je dois expliquer les opérations du pétrissage, qui ne sont pas du tout, comme on peut le croire, un simple malaxage. Elles consistent: 1° dans le *délayage*, qui a pour but de mélanger l'eau et le levain; 2° le *frasage*, qui consiste à réunir la farine au levain délayé dans l'eau; 3° le *contre-frasage*, ou seconde frase, pendant laquelle la fermentation se produit et complète l'opération du premier frasage en forçant toutes les parties, par le malaxage, l'allongement de la pâte et la pression, à se souder ensemble; 4° le *patonnage* ou soufflage, par lequel le pétrisseur fait pénétrer de l'air dans la pâte, pour développer l'élasticité du gluten par la formation de cloches nombreuses. Tous les pétrins inventés

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et refusés par les boulangers n'exécutent qu'une faible partie des opérations ci-dessus ; ils malaxent et mélangent, mais sans le déplacement qui combine les parties de la pâte les unes aux autres. Par le mouvement continuel de la pâte pendant le pétrissage, ils paralysent la fermentation. Le pétrin Boland soulève, déplace, allonge, étire sans que la pâte soit macérée et déchirée, et le mélange est homogène et parfait; la fermentation seule n'est pas satisfaisante.

Les échecs éprouvés par le grand nombre de pétrisseurs mécaniques essayés en boulangerie avaient amené les boulangers à la conviction qu'il était impossible de faire des pâtes avec un pétrin mécanique, dans les conditions voulues de la panification, et que ce travail n'était possible que par les mains des hommes, qui sentaient la fermentation se produire sous leurs manipulations et pouvaient la diriger, pour obtenir l'homogénéité et la force qui produisent un bon rendement.

Le refus des boulangers de s'exposer à de nouveaux essais, toujours onéreux, et dans lesquels ils n'avaient pas confiance, ont découragé les inventeurs, et le métier de boulanger est resté à l'état primitif, barbare et peu ragoûtant du pétrissage à bras, pendant que toutes les autres industries trouvaient le perfectionnement et l'économie par l'emploi des appareils mécaniques. Cependant, la liberté donnée au commerce de la boulangerie et à la fabrication mécanique du pain, à l'Exposition universelle, à fait envisager la question de la panification à un autre point de vue.

Des hommes intelligents et d'une science plus développée ont songé à transformer le métier de boulanger, pour en faire une industrie comme les raffineries de sucre ou les fabriques de chocolat. Ces idées se seraient certainement déjà beaucoup développées, et chaque quartier, dans les villes, aurait une usine pour la fabrication centralisée du pain, si la liberté était complète, c'est-à-dire si les maires n'avaient pas encore la faculté de rétablir la taxe sur le pain. Il faut enfin que la loi de 1791 disparaisse de nos Codes pour que la boulangerie

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

prenne son essor. Une entreprise sérieuse, exigeant de grands capitaux et la direction d'hommes pratiques et intelligents, ne pourra pas se créer sous le régime de la réglementation et de la taxe ; c'est l'opinion du gouvernement, et il faut espérer qu'elle sera acceptée par la majorité de la Chambre des députés et du Sénat. Il est bien à désirer que cette suppression de la loi de 1791 se fasse sans retard, parce que la démonstration de la fabrication du pain par les pétrisseurs mécaniques ayant fonctionné à l'Exposition et alimenté tous les restaurants a obtenu l'approbation des visiteurs. On désire, on demande aujourd'hui le pain produit proprement et régulièrement par les pétrisseurs mécaniques. On cherche à monter des sociétés pour fonder des boulangeries coopératives ou économiques, et le prix élevé du blé et du pain rend cet élan très-opportun.

Deux faits très-remarquables, et surtout très-concluants, ont sanctionné, à l'Exposition, les avantages du pétrissage mécanique. La corporation des ouvriers boulangers de Paris a choisi et envoyé des délégués pour étudier les systèmes exposés. Ces délégués sont restés plusieurs jours dans la boulangerie générale de l'Exposition de M. Lebaudy et dans la manutention Plouin et Vaury; ils ont travaillé eux-mêmes pour bien se rendre compte, et leur rapport a été remis à M. Devinck, membre de la Commission impériale et président de la Société d'encouragement des ouvriers.

Les diverses sociétés coopératives de Paris ont décidé la création de plusieurs boulangeries, pour fournir le pain à leurs adhérents. Une commission d'initiative a été nommée, et des ouvriers boulangers en faisaient partie. Voici un extrait de leur rapport. « M. Bastien, secrétaire, a donné lecture d'un « rapport très-étudié et très-remarquablement rédigé, faisant « l'éloge de la boulangerie mécanique, où fonctionne le pétris- « seur Lebaudy, dont la Société a l'intention de se servir. Le « rapport particulier des ouvriers boulangers conclut à l'adop- « tion du système Lebaudy. Le problème est définitivement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« résolu ; la pétrisseuse mécanique proposée par la Commis-
« sion réunit tous les avantages du travail à bras, sans en avoir
« les inconvénients et sans exiger, à beaucoup près, un travail
« si pénible. En présence de ce rapport et des renseignements
« venus de différents points, l'assemblée adopte, en principe,
« la pétrisseuse mécanique Lebaudy. »

Ainsi, les ouvriers boulangers, sans être arrêtés par ce fait que le pétrissage mécanique diminuera le nombre des ouvriers pétrisseurs, réclament l'adoption de ce système, et cela se comprend : leur métier est rude, énervant, abrége positivement leur existence, il a été reconnu insalubre par les sociétés d'hygiène; il faut le cesser au bout de trente ans et céder la place à des jeunes gens plus vigoureux. Avec les appareils mécaniques, ils n'ont plus de fatigues excessives ; ils peuvent travailler tranquillement et éviter ces transpirations qui les affaiblissent ; leur intelligence, appliquée au travail, trouvera le progrès en les faisant sortir de la routine ; enfin, ils pourront exercer leur métier jusqu'à un âge avancé.

A ce point de vue, le pétrissage mécanique ne mérite-t-il pas la protection et l'appui du gouvernement? La transformation de la boulangerie en une industrie mécanique, appliquant toutes les données de la science, produira, sans aucun doute, le pain meilleur, fait proprement et à bon marché. Cette industrie saura s'affranchir de la domination de la meunerie, qui fait la hausse ou la baisse du prix du pain, sans la volonté ou la coopération du boulanger. Les farines de blés durs et demi-durs entreront dans la panification aussi bien que les farines de blés tendres, et un bon pain de ménage plus substantiel pourra être fabriqué par les travailleurs. Le rendement des farines en pain sera plus élevé, ainsi que le dit M. Barral, et cela sans forcer les proportions d'eau, parce que, dans la pétrisseuse mécanique, toutes les molécules du levain sont bien divisées et incorporées dans la pâte. La fermentation est produite d'une façon générale ; pas une parcelle de la pâte n'échappe à ce travail. Par la fourchette mélangeuse, la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

farine absorbe toute l'eau qu'elle doit absorber. La puissance de la machine pétrisseuse sèche les pâtes, et l'eau ne s'évapore pas au four, comme avec le pétrissage à bras, qui laisse les pâtes à l'état humide. De là un rendement supérieur de 5 à 10 pour 100, suivant l'espèce et le corps de la farine employée. Ce rendement supérieur, constaté par les boulangers employant le système depuis quatre ans, a une importance qui permet, seule, une réduction sur le prix du pain. Tous ces résultats peuvent être obtenus par l'emploi du pétrin mécanique. Il faut donc reconnaître son importance, encourager et faciliter son adoption, et pour cela, bien envisager la question et les moyens de succès.

Le métier manuel de la boulangerie doit être transformé en industrie mécanique avec un moteur, ce qui exige tout d'abord une production et une vente assurée, en harmonie avec la puissance des appareils et ce qu'ils peuvent donner de travail. Le pétrin mécanique peut faire quatre à cinq cents kilogrammes de pâte en dix minutes, ce qui exige deux fours pour la cuisson, et comme main-d'œuvre, un brigadier pour les deux fours, un premier aide dirigeant le pétrissage, un second et un troisième aide pour peser et façonner les pâtes, un quatrième aide pour tout faire; total cinq hommes. Le pétrissage à bras étant supprimé, il est facile de faire dix fournées dans chaque four, soit vingt fournées en dix à onze heures de travail. Chaque fournée sera de 150 kilogrammes de pain, soit 3,000 kilogrammes ou quinze sacs de farine de 157 kilogrammes.

L'usine qui fera ce travail régulièrement sera dans une condition économique excellente pour alimenter quatre mille personnes, et, dans une ville, quatre mille personnes sont dans un rayon facile à pourvoir. Si ce n'est pas quinze sacs de farine, mais seulement dix sacs dont l'écoulement est possible, les avantages, il est facile de le démontrer, seront encore assez importants pour créer l'usine et travailler mécaniquement.

Les modèles de pétrin exposés, qui sont de simples ma-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

laxeurs pour être tournés à bras d'hommes et faire de la pâte pour un seul four, ne peuvent servir que pour les petites boulangeries et sans apporter d'économie dans la main-d'œuvre ni dans le rendement. Si, à l'Exposition, ils avaient fonctionné et fait des pâtes tous les jours, les visiteurs et surtout les hommes du métier les auraient condamnés; il n'y a donc pas utilité d'en rien dire.

§ 3. — Résumé.

En résumé, la fabrication du pain réalisée à l'Exposition a mis en évidence les avantages des pétrisseurs mécaniques. Les hommes du métier ont pu les étudier et les apprécier. La prévention, causée par de nombreux insuccès, doit disparaître, et jamais une machine n'aura été substituée au travail manuel, au point de vue de l'humanité, de la salubrité, avec plus de raison que dans le travail des pâtes pour la panification. L'emploi des farines de blés durs et demi-durs, aussi bien que des farines de blés tendres; un rendement supérieur de 5 à 10 pour 100 ; la possibilité de fabriquer dans les grandes villes un bon pain de ménage, donnent à l'emploi des pétrisseurs mécaniques une bien grande importance dont on ne s'est pas assez préoccupé jusqu'à ce jour.

Il faut que le métier de boulanger se transforme en industrie mécanique, et que la fabrication se centralise pour obtenir tous ces avantages. Il faut que des hommes nouveaux, intelligents et réunissant le capital nécessaire, entreprennent cette transformation. Il faut, pour triompher de la routine, que les consommateurs comprennent et donnent leur appui et leur sympathie au pain fait mécaniquement. Il faut enfin qu'une liberté complète soit donnée au commerce de la boulangerie, que le prix du pain soit régularisé par une concurrence sans entraves, qui rendra la coalition ou l'entente occulte impossibles, et le gouvernement sera dégagé de la responsabilité de la cherté du pain.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III.

MATÉRIEL DE LA CHOCOLATERIE

PAR M. LE BARON THÉNARD.

§ 1. — Considérations générales.

Au fur et à mesure que la situation matérielle de l'homme s'améliore, il se crée à lui-même de nouveaux besoins, et tel objet, autrefois de luxe, devient, à un moment donné, de première nécessité. Le chocolat est dans ce cas.

Arrivant *des îles*, comme on disait alors, le cacao apparut d'abord dans *les Espagnes* : mais le nouveau monde, ne comptant que des arbres épars, quasi-sauvages, ne put au début en fournir que de minimes quantités, en sorte que, pendant longtemps, il resta presque exclusivement réservé aux convalescents riches ; pour le faire entrer dans la grande consommation, il fallut cultiver méthodiquement l'arbre qui le produit, choisir et améliorer les espèces, inventer et perfectionner l'art de le fabriquer, attendre que le goût, ainsi que le besoin, s'en développât dans les masses : ce fut l'œuvre de plus de quatre siècles.

Quoique ce soit à l'Espagne que l'on doive ce précieux aliment, ce n'est rien usurper que d'accorder à la France l'honneur de l'invention des machines qui sont venues, avec plus de perfection et d'économie, remplacer la main de l'homme dans la fabrication du chocolat. Mais depuis soixante ans que le fait s'est produit, le public, devenant chaque année plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exigeant, la concurrence plus ardente, les inventions se sont multipliées, si bien que, dès l'Exposition de 1855, il était permis de se demander quelle voie restait ouverte à de nouveaux progrès. Aussi ne faut-il pas être surpris que, depuis lors, l'outillage de cette belle industrie n'ait subi que des modifications de détail; il en est toujours ainsi quand un art ou une science font tout à coup un grand pas en avant, il leur faut un certain temps pendant lequel elles jouissent et se recueillent, en quelque sorte, avant d'en faire un nouveau.

§ 2. — Appareils directs de fabrication.

Le chocolat n'est, en définitive, qu'un mélange intime, et généralement à parties égales, de cacao torréfié et de sucre. Réduite à ces termes, sa fabrication ne semble donc demander que deux ou trois appareils ; mais il est des opérations accessoires et fort importantes qui viennent en augmenter le nombre : telles sont celles qui ont rapport au nettoyage et à la décortication des fèves ; telles sont aussi celles que certains usages commerciaux imposent, soit pour faciliter le débit du produit, soit pour sa meilleure conservation chez le consommateur ; si bien qu'une chocolaterie bien montée, indépendamment du moteur et des magasins, doit compter, suivant l'ordre des opérations :

1° Un cylindre cribleur et à poussière, pour nettoyer les fèves;

2° Un torréfacteur pour les rôtir;

3° Un concasseur pour les décortiquer;

4° Un tarare pour séparer la partie charnue de l'amande d'avec l'écorce ;

5° Une broyeuse de cacao pur;

6° Une mélangeuse de sucre avec le cacao broyé et encore à l'état de crème;

7° Un appareil spécial pour broyer le mélange précédent;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

8° Une étuve pour réchauffer au besoin la pâte avant de la mouler ;

9° Une machine à peser la pâte avant de la mettre en tablettes ;

10° Une machine à mouler les tablettes ;

11° Une cave à rafraîchir ;

12° Une machine à envelopper les tablettes de papier d'étain et de papier ordinaire.

Le cylindre à poussière, le concasseur et le tarare sont des instruments anciens, simples, remplissant bien leur office et sur lesquels il n'y a pas lieu de s'arrêter ici.

Les machines à peser, à mouler, à envelopper, bien que des plus ingénieuses, n'ayant pas depuis 1855 subi de modifications, nous renvoyons à la description si lucide qu'en a donnée à cet époque M. l'ingénieur Philips (Rapport de 1855, classe 6, p. 291, éd. in-quarto), et nous ne parlerons que de celles qui, par les perfectionnements dont elles ont été l'objet ou dont elles sont susceptibles, ou bien qui, faute de n'avoir pas été assez comprises, méritent une attention spéciale.

§ 3. — Torréfacteur.

De toutes les opérations, c'est la torréfaction qui est la plus délicate. Brillat-Savarin, qui, sous une forme légère, énonce souvent de grandes vérités, aurait pu appliquer un de ses plus gais et plus profonds aphorismes à l'art de torréfier le cacao. Il y a là, en effet, une question de conduite du feu et de moment à saisir qui exige beaucoup d'habitude, doublée surtout de beaucoup d'instinct. Tout en imprimant au brûloir un mouvement régulier et bien calculé, c'est par un feu très-doux qu'il faut commencer à rôtir les noix et par un feu vif qu'il faut finir.

Dans le premier temps la noix se dessèche, dans le second elle se torréfie et l'arome se développe.

Que la dessiccation soit insuffisante, le chocolat aura un goût

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de cuit; qu'elle soit trop grande, l'arome se développera mal; que le coup de feu final soit trop ardent ou trop prolongé, il se perdra ; qu'il soit insuffisant, il restera un goût de cru ; or, une minute d'erreur pour les qualités ordinaires, une demie pour les plus fines, suffisent pour rendre l'opération fautive.

Les ouvriers qui réussissent en une telle occurrence sont nécessairement rares, et nous tenons des plus habiles qu'ils ne sont jamais sûrs d'eux; un cacao dont ils n'ont pas l'habitude, une pelletée de coke mal choisie, un coup de vent qui modifie le tirage de la cheminée suffisent pour les mettre en erreur.

D'après cela, il ne faut pas être surpris que les industriels les plus distingués, profitant des ressources de la mécanique moderne, aient porté leur plus sérieuse attention sur le torréfacteur; cependant, il faut le dire, quoiqu'ils aient déjà beaucoup fait, ils ont encore à trouver pour le rendre parfait.

En tant que forme et mouvement, le torréfacteur n'est qu'un très-grand brûloir à café, empruntant généralement son mouvement circulaire au moteur de l'usine, et dont le maniement pour l'entrée et la sortie du fourneau est facilité par des dispositions mécaniques ingénieuses, mais connues et depuis longtemps décrites. Cependant, jusqu'en 1849, il lui manquait un organe qui permît, sans l'arrêter, sans le sortir du four, surtout sans l'ouvrir, toutes choses funestes à la rapidité du travail et à la qualité du produit, de vérifier à volonté et facilement l'état des fèves et leur degré de cuisson. Cet organe, c'est M. Devinck, à qui l'outillage de la chocolaterie doit tant et de si élégantes machines, qui, aidé de son digne et habile contre-maître, M. Armand Daupley, l'a inventé.

C'est par le centre de l'axe lui-même, qui, en conséquence, est foré comme il convient, et à l'aide d'une cuiller ingénieusement disposée, qu'à tout moment l'opérateur va puiser au centre de la masse quelques fèves qui donnent l'état des autres; ainsi se fait la vérification. Or, il est un fait qui a

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

lieu de surprendre, c'est que cette disposition si utile, si approuvée de tous, soit très-peu répandue : il serait cependant temps de songer que la fabrication du chocolat ne peut, comme aujourd'hui, continuer à constituer une sorte de monopole qu'à la condition de ne pas s'immobiliser.

Mais il manque encore une chose importante au torréfacteur : c'est la sûreté et la précision dans le chauffage ; jusqu'ici tout est encore abandonné aux caprices d'un foyer presque directement en contact avec le brûloir et qui trahit souvent les plus soigneux et les plus exercés; or, l'Exposition actuelle fourmille de moyens aussi variés que sûrs pour régler les températures ou les faire varier au gré des opérateurs. Ce serait donc une faute si la chocolaterie n'allait pas fouiller dans cet arsenal du progrès, pour résoudre à son profit une des questions qui l'intéressent le plus.

§ 4. — Broyeuses, etc.

Quant aux broyeuses de cacao pur, aux mélangeuses de cacao et de sucre, aux broyeuses à finir, elles n'ont pas non plus subi dans leurs formes de modifications importantes : ce sont toujours des troncs de cônes simples ou étagés, ou bien des molettes tournant sur une plate-forme fixe ; parfois c'est la plate-forme qui tourne et entraîne par friction ces mêmes molettes dont l'axe devient alors fixe ; ou bien ce sont des cylindres montés en laminoir, tournant avec des vitesses différentes, de sorte que tout à la fois la matière est comprimée et déchirée ; quelquefois enfin ce sont des meules de petit diamètre montées à la façon de celles des moulins, mais armées de noix en acier vers le centre.

Au point de vue de la finesse du broyage, toutes ces machines sont bonnes, car elles arrivent toutes à reduire le cacao à des particules qui sont comprises entre $\frac{1}{462}$ à $\frac{1}{231}$ de millimètre. Cependant il est juste de dire que c'est la broyeuse à plate-forme tournante de grande dimension et conduite à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grande vitesse qui, tant sous le rapport de la perfection et de la rapidité du travail, que de l'économie de la force, de la facilité du service et de la quantité du produit, mérite la préférence quand elle est combinée avec des cylindres à finir.

Mais ce qui doit être consigné dans ce Rapport, c'est que partout le granit est venu pour les organes broyeurs remplacer la fonte, qui, outre qu'elle devient paresseuse, donne toujours du goût.

Mais, pour en arriver là, il fallait un outil à travailler facilement et avec précision le granit. Cet outil est venu : c'est le diamant noir, avec l'audace et l'art de l'employer. Comme toute idée juste et pratique, celle-ci a fait son chemin : les arts d'ornement en ont tiré un très-heureux parti, et plusieurs tunnels, que naguère on n'aurait pas osé rêver à cause de la dureté des roches à traverser, se percent aujourd'hui avec le diamant noir.

C'est à M. G. Hermann, le plus important des constructeurs de machines à chocolat, et chocolatier lui-même, que l'on doit, si ce n'est le principe, au moins l'application en grand de ce précieux outil.

Quant à la confection de tout cet outillage, elle est parfaite chez le plus grand nombre des constructeurs et très-bonne chez les autres : on reconnaît là que l'industrie continuant à donner de beaux bénéfices, messieurs les fabricants ne cherchent pas à économiser sur la qualité de leur matériel et ne sacrifient pas, comme il arrive trop souvent en industrie, la précision et la solidité de l'outillage à son bon marché.

Par conséquent, il est juste de citer avec éloge :

1° M. Devinck et son honorable contre-maître, M. Armand Daupley, qui, en dehors de leurs belles inventions, ont été les principaux promoteurs de cet heureux mouvement;

2° M. Hermann, pour la taille du granit avec le diamant noir et sa broyeuse à plate-forme tournante ;

3° M. Pelletier, pour sa broyeuse montée en forme de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

meules de moulin, précieuse pour les chocolats fins, dont elle empêche l'arome de s'évaporer ;

4° et 5° M. Debatiste, d'une part, et M. Bonoire, de l'autre, pour leur bonne construction.

Cependant il ne faut pas oublier non plus les fabricants de moules pour chocolat et autres bonbons ornementés, tels que MM. Marie Letang et fils, veuve Letang fils et H. Guay, qui ont su introduire dans leur modeste industrie le bon goût toujours, et parfois les délicatesses de l'art.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IV

FABRICATION DE LA GLACE

PAR M. ARNOULD THÉNARD.

§ 1. — Considérations générales.

La glace aujourd'hui n'est plus seulement un des éléments de l'art culinaire, c'est encore un des agents de la grande industrie. Les brasseries en réclament d'immenses quantités, la chocolaterie commence à s'en servir ; depuis longtemps les marchés des grandes villes l'utilisent à conserver le poisson; elle tend à s'introduire dans les fermes pour refroidir le lait avant de l'expédier ; avec elle, dans certaines années, les vignobles extrayent de leurs grands vins une portion de la partie aqueuse ; elle assure dans le midi la cristallisation des sels précieux et multiples que renferment les dernières eaux mères des marais salants ; enfin, chaque année, on voit les usages s'en étendre, et l'art de créer et d'utiliser le froid est venu, en quelque sorte, compléter l'art de créer et d'utiliser la chaleur.

Cependant, il y a quelques années encore, c'était uniquement sur les froids de l'hiver que l'on comptait pour avoir la glace, que l'on accumulait alors dans des glacières pour les besoins de l'été ; mais dans les pays tempérés, l'hiver trahissant quelquefois les espérances, les glacières restaient vides, et dans bien des pays chauds la glace était inconnue, lorsque, tout d'un coup, le commerce, l'industrie et la science, s'emparant de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

question, vinrent répartir la glace sur tous les points civilisés du globe. Québec en dota Calcutta, Rio Janeiro, Bordeaux, Marseille et même Alexandrie; les Alpes scandinaves assurèrent en tout temps l'approvisionnement de Londres et de Paris; la Suisse la répandit dans toutes les plaines qu'arrosent les fleuves à qui elle donne naissance. Telle est la part du commerce pour lequel l'industrie inventa les machines les plus puissantes à exploiter la glace, les navires les mieux installés pour la conserver et la transporter au loin.

Mais, à côté de ces grands mouvements qui, par leur grandeur même, constituaient une sorte de monopole pour quelques-uns seulement, la science vint à son tour créer une utile concurrence en découvrant l'art de fabriquer la glace artificiellement et à bon marché. Si bien que, sous un climat quelconque, depuis le simple consommateur qui n'en veut qu'un kilogramme jusqu'à l'industriel qui en exige des masses considérables, chacun peut, dans son ménage comme dans sa fabrique, la produire à bon compte sans sortir de chez soi.

§ 2. — Appareils par abaissement de température.

Quand un corps passe de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux, il absorbe de la chaleur, et, par conséquent, produit du froid autour de lui. Tel est le principe sur lequel est fondé la fabrication de la glace.

Or, si ce principe est vrai pour tout corps fusible ou volatil considéré isolément, il l'est aussi pour quelques mélanges : ainsi, depuis longtemps on sait qu'un kilogramme de nitrate d'ammoniaque mélangé à un kilogramme d'eau produit un abaissement de température de 25°; qu'un mélange de parties égales d'eau, de nitrate d'ammoniaque et de carbonate de soude cristallisé donne un abaissement de 32°; qu'un mélange de 8 parties de sulfate de soude cristallisé et de 5 parties d'acide chlorhydrique du commerce donne un abaissement de 27 degrés, etc. En sorte que si, dans un vase et

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

avec des quantités suffisantes, on fait un de ces mélanges et qu'on y trempe une carafe d'eau, à la condition que la température ambiante n'atteigne pas les degrés marqués plus haut, l'eau gèlera dans la carafe. Sauf certaines dispositions de détail, qui empêchent la déperdition du froid (que les savants nous passent cette expression) et tendent à activer l'opération, les premières glacières artificielles ne furent et ne sont encore que la réalisation plus pratique et plus économique de l'expérience que nous venons de rappeler.

Cependant M. Tozelli d'une part et M. Penaut de l'autre viennent d'ajouter à ces petits appareils un complément qui n'est pas sans portée. Pour que le froid se produise dans de bonnes conditions, il faut qu'il se produise vite, et pour cela on doit remuer le mélange, jusqu'à ce que la dissolution des matières solides soit opérée. Or, pour faciliter l'agitation, M. Tozelli a imaginé de fermer hermétiquement et de tous côtés sa glacière et de la faire tourner autour de deux tourillons saisis à demi-hauteur du cylindre extérieur. Quant à M. Penaut, qui a également fermé sa glacière, il la place sur un berceau qui l'agite de bout en bout.

Ce serait être injuste que de se montrer sévère à l'égard de ces charmants appareils; plus d'un malade leur a dû la vie, quelques desserts intimes ont été égayés avec le vin de champagne qu'ils ont frappé, mais peu de grands cuisiniers ont préparé avec eux les sorbets d'un nombreux festin, ou les rafraîchissements d'une brillante soirée; c'est qu'en effet si, dans les limites d'abaissement de température que nous avons dites, ils fonctionnent sûrement, ils ne fonctionnent que petitement et chèrement.

Pour manier par hasard dans son ménage quelques kilogrammes de nitrate d'ammoniaque et de carbonate de soude, comme le fait M. Tozelli, ou de sulfate de soude et d'acide chlorhydrique, comme le fait M. Penaut, on ne compte ni son temps ni sa peine; cependant on compte déjà le nitrate

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'ammoniaque qui est cher et ne se régénère pas en présence du carbonate de soude, ou bien le sulfate de soude et l'acide chlorhydrique qui, bien qu'étant à bon marché, demandent des ménagements dans leur emploi ; mais sitôt qu'il faut agir en grand, c'est autre chose, et cela est bien pis quand l'opération devient industrielle : aussi ne faut-il pas être étonné que la fabrication de la glace par la méthode des mélanges n'ait eu qu'un succès très-restreint.

§ 3. — Découverte de M. Ferdinand Carré.

Mais il n'en est pas de même de celle qui a pour base la gazéification d'un liquide : c'est une belle et grande découverte qui a justement fait connaître le nom de son auteur, M. Ferdinand Carré.

Quand on verse sur la main un liquide très-volatil, de l'éther, par exemple, on éprouve une vive sensation de froid, et l'éther se volatilise presque instantanément; c'est l'éther qui, pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, ayant besoin d'une certaine quantité de chaleur, l'emprunte à la main et cause le refroidissement. Or, qu'on remplisse d'éther un vase très-ouvert et qu'on y plonge une carafe d'eau, l'éther, pour se volatiliser, empruntant de la chaleur à l'eau, celle-ci se refroidira, comme tout à l'heure la main ; mais que, pour rendre l'évaporation de l'éther plus rapide et le froid plus intense, on place le vase précédent sous la cloche d'une machine, pneumatique puissante, et qu'on fasse activement le vide, l'eau se refroidira davantage et arrivera même à se congeler. Tel est le principe du premier appareil de M. Carré; seulement, il était agencé de telle sorte, que l'éther à chaque instant volatilisé était constamment recondensé, et que, sauf les pertes inhérentes aux joints et aux stephen-box des machines, le même éther revenait toujours produire de nouvelle glace : nul de ceux qui ont vu fonctionner l'appareil à l'Exposition de Londres n'oublieront ces immenses piles de glace qu'en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quelques heures il créait comme par enchantement ; cependant, tout merveilleux et élégant qu'il soit, il a disparu pour être remplacé par un autre, plus simple, moins coûteux et plus durable.

L'ammoniaque, qui est un gaz à la température et à la pression ordinaire, devient un liquide, à cette même température, quand on le soumet à une pression de 35 à 40 atmosphères. Or si, lorsqu'elle est devenue liquide par suite d'une pression, on répétait avec l'ammoniaque les expériences que nous venons de rappeler avec l'éther, le refroidissement serait bien plus rapide; mais, encore moins qu'avec l'éther, le jeu des machines et leur conservation seraient assurés.

Réduite à ces termes, la question aurait donc plutôt reculé qu'avancé; mais le gaz ammoniac, en outre qu'il se liquéfie sous pression, jouit de deux autres propriétés que M. Carré a su mettre très-habilement à profit et qui constituent la meilleure part de sa nouvelle invention. Il est, d'une part, instantanément soluble dans l'eau froide, à raison de 400 volumes pour un, et, par contre, presque insoluble dans l'eau chaude : de telle sorte que, si, dans une des branches d'un siphon en verre épais, on introduit une dissolution d'ammoniaque, qu'on scelle ensuite le siphon à la lampe et qu'on trempe la branche contenant la dissolution ammoniacale dans de l'eau bouillante, on voit bientôt le liquide entrer en ébullition et venir se condenser dans la branche restée libre. Or, ce liquide qui distille ainsi n'est pas la solution elle-même, c'est du gaz ammoniac anhydre et liquéfié sous la pression qu'il exerce sur lui-même en se séparant de l'eau : et cela est si vrai que, si on retire le syphon de l'eau bouillante, on voit petit à petit ce même liquide disparaître entièrement et la solution ammoniacale reprendre son volume primitif; c'est l'eau de la solution qui, en se refroidissant, réabsorbe le gaz qu'elle avait perdu par la chaleur.

Tel est le principe des nouveaux appareils de M. Carré, qui se classent en appareil intermittent et appareil continu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil intermittent se compose de deux réservoirs en forte tôle et d'inégales capacités, reliés entre eux par un tube de communication : le plus grand, appelé chaudière, est, une fois pour toutes, rempli d'une solution aqueuse d'ammoniaque suffisamment concentrée, tandis que le plus petit, appelé liquéfacteur, reste normalement vide. Pour s'en servir on chauffe la chaudière jusqu'à 130° environ, pendant qu'en même temps on refroidit le liquéfacteur, en l'immergeant dans un grand baquet d'eau aussi froide que possible, de l'eau de puits, par exemple.

Cependant, dans ces conditions, à mesure que la chaudière s'échauffe, le gaz ammoniac, comme dans le siphon précédent, abandonne l'eau qui le tenait en dissolution pour engendrer une pression et aller se liquéfier dans le liquéfacteur : si bien que, quand on a suffisamment chauffé, on se trouve avoir, d'une part, dans la chaudière, de l'eau à une température de 130°, et, d'autre part, dans le liquéfacteur, du gaz ammoniac liquéfié et froid. Tel est le premier temps de l'opération. Quant au second, on enlève tout l'appareil comme tout à l'heure on a fait du siphon, et l'on plonge le liquéfacteur dans un vase d'une capacité mesurée et convenable, contenant l'eau à congeler, pendant qu'en même temps on abandonne la chaudière à l'air libre où elle se refroidit. Dès lors, l'eau restée dans la chaudière reprenant son affinité pour le gaz ammoniac, celui-ci est réabsorbé avec une activité suffisante pour provoquer la volatilisation du liquide amoncelé dans le liquéfacteur. Or, cette volatilisation, qui est relativement rapide, ne pouvant s'opérer qu'en entraînant avec elle la production d'un froid énorme dû à la grande capacité du gaz ammoniac pour la chaleur, la congélation de l'eau qui entoure le liquéfacteur a lieu.

D'après cette description, il est facile de voir que l'appareil intermittent ne peut atteindre à de grandes dimensions ; aussi ne donne-t-il que deux ou trois kilogrammes de glace en trois heures de travail et avec un kilogramme de charbon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Convenable pour un ménage qui, par hasard, veut à la campagne se procurer un peu de glace, il ne satisfait donc en rien aux besoins de la grande industrie ; mais c'est par lui que M. Carré a dû passer pour arriver au splendide appareil continu que nous allons décrire.

Quand on examine le jeu d'un appareil intermittent, on voit que ses deux vases remplissent alternativement deux offices différents : le plus grand, celui de chaudière d'abord et de vase absorbant ensuite ; le plus petit, celui de liquéfacteur d'abord et de congélateur à la fin. Dès lors on se demande si en accouplant ensemble deux appareils intermittents, on ne pourrait pas constamment faire jouer le même rôle à chacun des quatre vases qui les composeraient, de sorte que la chaudière de l'un conservant le rôle de chaudière, et son liquéfacteur celui de liquéfacteur, le liquéfacteur de l'autre ne fonctionnerait jamais que comme congélateur et sa chaudière comme vase absorbant. Mais, pour cela, comment faudrait-il agencer l'appareil? Il suffirait d'établir un circuit qui permettrait au gaz d'aller se condenser dans le liquéfacteur, pour passer ensuite et opérer dans le congélateur, et, de là, arriver dans le vase absorbant, pendant que les eaux pauvres, suivant une direction inverse, sortiraient de la chaudière, passeraient par un refroidisseur et gagneraient le vase absorbant, où, rencontrant le gaz venu du congélateur, elles s'enrichiraient à nouveau, pour rentrer, sous l'action d'une pompe, dans la chaudière et recommencer leur office.

Tel est, en effet, le programme réalisé dans l'appareil continu, à cela près que les eaux pauvres, avant de se refroidir complétement, commencent par échauffer ces mêmes eaux enrichies à leur rentrée dans la chaudière; c'est une économie de combustible ; de plus, ce n'est pas à la flamme directe que l'appareil est chauffé, c'est par un serpentin, qui reçoit de la vapeur sous pression envoyée par la chaudière, qui fait en même temps mouvoir le moteur de la pompe et d'autres accessoires.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Cependant si, au point de vue de l'organe principal, l'appareil est continu, il ne l'est pas encore sous le rapport de la congélation de l'eau elle-même, et c'est ce qui n'a pas échappé à la sagacité de l'inventeur. Avec l'appareil intermittent, nous avons dit que l'on plongeait directement le congélateur dans l'eau à congeler; pour de petites quantités de glace, c'est en effet ce qu'il y a de mieux à faire; mais sans de grandes peines et beaucoup de temps perdu, comment débiter et enlever de gros blocs qui seraient engendrés ainsi par un appareil puissant? M. Carré ne produit pas de gros blocs, mais seulement des cylindres de 0^m 40 de long sur 0^m 08 de diamètre, et, pour cela, il ne congèle pas directement son eau; c'est par l'intermédiaire d'un liquide incongelable et sans cesse refroidi qu'il opère. Constamment, en effet, et par un mouvement de thermosiphon, une dissolution de chlorure de calcium va, au contact du congélateur, s'imprégner du froid, qu'elle reporte dans une auge où trempent, suivant les dimensions de l'appareil, de 40 à 150 sorbetières cylindriques et en fer-blanc, qu'on renouvelle successivement et au fur et à mesure de la congélation de l'eau qu'elles contiennent; en sorte que, de ce côté, l'opération devient encore continue, des plus simples, et demande peu de main-d'œuvre. Aussi ne faut-il pas être étonné qu'avec un petit appareil de 4,800 francs on obtienne 25 kilogrammes de glace à l'heure, et qu'avec un grand de 24,000 francs, sans presque plus de frais, on en produise 200, si bien que, tout compte fait, la glace ne coûte pas plus de 5 centimes avec l'un et 1 centime avec l'autre.

Tels sont les appareils de M. F. Carré, que les concessionnaires de ses brevets, MM. Mignon et Rouart, construisent aujourd'hui avec une perfection d'exécution méritant d'autant plus d'éloges qu'ils les ont améliorés dans certains détails importants et délicats, tels que les robinets, qui, dans leurs mains habiles, ont acquis une tenue et une sûreté de jeu qu'on n'avait pu atteindre avant eux.

Cependant, il ne faudrait pas croire que M. F. Carré n'ait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pas trouvé d'émules ; il en a rencontré un, et des plus heureux, dans son frère.

§ 4. — Appareils de M. Edmond Carré.

Nul n'a oublié cette charmante expérience de Leslie, une des joies de nos premières leçons de physique, qui consiste à placer sous la cloche de la machine pneumatique un large vase contenant à peine un doigt d'acide sulfurique concentré, à le surmonter d'une petite coupe en verre bien mince à moitié remplie d'une eau *aussi fraîche que possible*, et à faire le vide *de toutes ses forces*. Chacun se rappelle que, quand on était heureux, l'eau se congelait ; mais, combien en dehors des hommes adonnés aux études scientifiques, n'ont pas vu geler l'eau au moment de l'expérience qui nous tenait tous en suspens, et ne croient à Leslie que sur la foi du baccalauréat.

Jusqu'ici, en effet, à entendre les maîtres, c'était aux machines pneumatiques qui étaient dérangées, à l'acide qui était éventé, qu'était due cette habituelle et cruelle déconvenue ; M. Edmond Carré, étudiant de plus près les causes de cet insuccès, l'a attribué à un motif tout autre.

A cause de sa densité, et malgré son affinité, l'acide sulfurique concentré peut, sans se combiner immédiatement avec elle, se laisser recouvrir et même se recouvrir spontanément d'une lame d'eau qui, bien que très-mince, l'isole, momentanément au moins, de l'atmosphère ambiante, sur laquelle alors il reste sans action. Or, dans l'expérience de Leslie, c'est ce qui arrive fréquemment, surtout s'il fait un peu chaud ; dès lors, par ce fait, l'évaporation cessant ou étant par trop ralentie, l'eau se refroidit bien, mais ne se congèle pas.

D'après ces données, pour réussir à coup sûr il devait suffire de remuer l'acide sulfurique et d'en renouveler ainsi les surfaces. C'est ce que réalise le nouvel appareil de M. Edmond Carré avec tant de succès pratique et théorique, que son auteur a pu remplacer les machines pneumatiques si précises de nos

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cabinets de physique par une pompe que construirait le moindre ferblantier. Cependant, et nous n'avons pas à entrer ici dans les détails de ce simple et curieux appareil, qui dans sa forme et sa puissance peut varier à l'infini, il restait à trouver une matière pour constituer le vase à acide sulfurique ; car, sous les coups de l'agitateur, le verre aurait pu se briser ; d'ailleurs il était d'un agencement difficile ; en ce point important, M. Edmond Carré a encore été très-heureux, en rencontrant un alliage de plomb et d'antimoine qui résiste tout à la fois à la pression atmosphérique et à l'action de l'acide : certainement d'autres industries s'empareront de cette composition.

Par ce procédé, qu'il est juste d'appeler *nouveau*, la congélation s'opère d'ailleurs assez vite ; ainsi, avec le plus petit modèle, quatre minutes suffisent pour voir se former des glaçons dans un carafon contenant 400 grammes d'eau et, en une heure, la masse se prend en bloc. Quant au prix de revient, il est nécessairement très-variable. Si l'on opère dans un ménage où l'on ne compte pas sa peine, mais où l'acide sulfurique étendu reste généralement sans emploi, il est de 5 à 6 centimes (3 kilogrammes de glace pour 1 d'acide). Si c'est dans une usine où l'on emploie de l'acide sulfurique que l'on reçoit concentré et qu'il faille diluer pour les besoins de l'industrie, ce qui est le cas le plus fréquent, il consiste uniquement dans le prix de la main-d'œuvre qui varie avec les lieux, avec les quantités produites et la présence ou l'absence d'un moteur, sur lequel on puisse prendre un filet insignifiant de force pour faire marcher la pompe et l'agitateur.

Mais il est un fait agricole important à noter ; c'est que toutes les fermes qui comptent des distilleries de betterave peuvent, dans les plus fortes chaleurs, s'assurer, dès aujourd'hui, par 1,000 tonnes de betteraves à distiller, et sans qu'il leur en coûte plus d'un centime par kilogramme, 30,000 kilogrammes de glace ; qu'elles peuvent utiliser pour la conservation de la viande, l'expédition de leur lait, la fabrication de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

leur beurre et de leur fromage ou celle de leur bière de consommation courante.

Si les beaux appareils de M. F. Carré satisfont brillamment et amplement aux besoins de la grande industrie, ceux de M. Edmond Carré seront certainement et bientôt utilisés par la moyenne ; les deux frères, poursuivant le même but et l'atteignant tous deux par des moyens divers, auront deux fois rendu un important service à l'humanité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 51

MATÉRIEL DES ARTS CHIMIQUES, DE LA PHARMACIE ET DE LA TANNERIE

SOMMAIRE :

Section I. — Matériel de l'industrie stéarique, par M. MOTARD, fabricant d'acide stéarique.

Section II. — Usines à gaz, par M. Eugène PELOUZE.

Section III. — Matériel de la pharmacie, par M. Amédée VÉE, vice-président de la Société d'Économie politique, ancien pharmacien, ancien maire à Paris, chef de division à l'Assistance Publique.

Section IV. — Préparation des tabacs, par M. CAVARÉ fils, ingénieur.

Section V. — Matériel et outillage mécanique de la tannerie et de la mégisserie, par M. A. PERRAULT, tanneur.

Section VI. — Produits réfractaires, par M. CHANDELON, professeur à l'Université de Liége, membre du Jury International de 1862.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 51

MATÉRIEL DES ARTS CHIMIQUES, DE LA PHARMACIE ET DE LA TANNERIE

SECTION I

INDUSTRIE STÉARIQUE

PAR M. MOTARD.

L'industrie stéarique, dont la création récente et les progrès incessants répondent à un besoin si généralement senti, qui a tant fait pour l'hygiène des habitations et qui est devenue indispensable aux commodités de la vie moderne, doit sans doute sa merveilleuse activité aux découvertes de la chimie. Mais la mécanique doit aussi réclamer sa part dans les résultats obtenus et dont l'Exposition de 1867 a fait ressortir toute l'importance. C'était à la mécanique de rendre facile et économique l'application des procédés industriels, de leur donner cette rapidité et cette ampleur qui font seules les grandes industries; la mécanique n'a pas failli à sa tâche, et la tâche était considérable. A l'origine elle est intervenue : elle a fourni le modeste autoclave qui, muni d'un agitateur et fonctionnant à 132° C. produisait le premier savon calcaire. La presse hydraulique, due

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au génie de Pascal, a séparé l'acide oléique liquide; mais ce n'était pas assez. La presse horizontale, perfectionnée par Bramah, et munie de plaques chauffées, a permis d'obtenir un résultat parfait. La mèche toute spéciale de la bougie stéarique ne pouvait se fabriquer à la main, et le métier à lacet s'est perfectionné pour fabriquer l'incroyable quantité de mèches à bougie qui se consomme aujourd'hui. Les pompes, les machines à vapeur, les générateurs sont venus à leur tour apporter la force, la précision et surtout la vapeur de chauffage nécessaires aux usines de stéarinerie. Les progrès ont été si grands et si soutenus que, dans les principales fabriques, les presses hydrauliques se comptent aujourd'hui par douzaines. Les générateurs y sont en grand nombre. La fonte et le charbon seront bientôt les deux grands soutiens de cette industrie, et toute variation dans le prix de ces deux matières premières l'affecte déjà profondément. Mais les procédés chimiques s'étant modifiés, nous devons signaler les conditions nouvelles qui ont été imposées à la mécanique et les appareils dont l'Exposition de 1867 nous offre des modèles.

Quatre types de procédés ont été successivement mis en usage dans l'industrie stéarique, et sont encore simultanément pratiqués ; on peut les ranger sous ces titres : 1° la saponification calcaire; 2° la réduction des corps gras neutres en acides gras et en glycérine, au moyen de l'eau seule; 3° la même réduction, opérée au moyen de l'eau aidée d'un agent chimique; 4° la distillation des corps gras, à l'aide de la vapeur surchauffée et après l'action préalable de quelques centièmes d'acide sulfurique.

Ces quatre variantes du procédé général se rapportent toutes à la première phase du traitement des corps gras, à celle qui a pour but de convertir les corps gras neutres en corps gras acides, en isolant la glycérine.

§ 1. — Saponification calcaire.

Sous ce point de vue, le procédé par la saponification cal-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

caire s'est simplifié. Sous l'influence des grandes masses, des cuves en bois ont pu remplacer l'autoclave primitif; mais l'Exposition actuelle vient de constater que des fabricants de Lyon sont revenus avec assez de bonheur à cette première méthode. Ils ont remplacé le chauffage direct par une introduction de vapeur; ils ont ramené les doses de chaux presque à la quantité théorique de 10,6 pour 100, et, sans dépasser la température de 130° C. pour exécuter la saponification, ils ont obtenu un savon calcaire excellent, mais pâteux et ramolli. En évacuant celui-ci dans cet état de ramollissement, ils ont eu l'avantage d'obtenir leur produit sous une forme très-divisée, par l'effet même de l'expansion subite de la vapeur contenue dans ses interstices; l'opération est d'ailleurs continue et permet d'obtenir de la glycérine assez concentrée.

§ 2. — Réduction des corps gras en acides par l'eau seule.

Le second procédé, la réduction des corps gras neutres en acides gras et en glycérine au moyen de l'eau seule, présente, au point de vue chimique, une réaction d'une netteté extrême. Il est expérimentalement prouvé que, à une température de 180 à 190° C., les corps gras neutres éprouvent ce genre de décomposition. Il nous semble même probable qu'à la température de 150° C., ils l'éprouveraient de même, dans de bonnes conditions d'appareil. La mécanique, qui est appelée à composer des appareils pour l'application de ce second procédé, doit surtout satisfaire à trois nécessités. L'appareil doit, en général, travailler sous une pression de dix à douze atmosphères. Il doit pouvoir résister à l'énergique corrosion que les acides gras exercent sur la plupart des métaux à cette température, et aux fuites que cette corrosion entraîne si facilement; il doit enfin, pendant toute la durée de l'opération, mettre en contact intime et renouvelé deux corps qui ne se mêlent pas : la graisse et l'eau.

Le professeur Melsens, de Bruxelles, eut, le premier, recours

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

à la mécanique, en 1854, pour réaliser ces conditions théoriques et les introduire dans la pratique industrielle. Malgré de grands mérites, son appareil fut insuffisant pour travailler à l'eau pure.

Richard Tilghman, presque en même temps, importait d'Amérique une méthode pareille, et, pour l'appliquer, il faisait breveter, en 1854, l'appareil assez peu pratique qui porte son nom et qui paraît uniquement convenir à une démonstration de laboratoire. Cet appareil, décrit plus en détail dans le *Dingler's Polytechnic journal*, se divise en quatre parties. La première comprend une chaudière, où la graisse et l'eau viennent se mêler et sont émulsionnées par un piston percé de trous qui les agite; la seconde partie est formée d'un tuyau de fer dit *de Perkins*, très-résistant, d'un pouce anglais de diamètre extérieur et d'un demi-pouce de diamètre intérieur. Ce tuyau, plusieurs fois enroulé sur lui-même, est chauffé, dans un fourneau spécial, à une température qui varie depuis celle de la fusion de l'étain, 228° C. environ, jusqu'à la fusion du plomb, 334° C. La graisse émulsionnée est chassée au moyen d'une pompe dans ce tuyau, qu'elle parcourt; la réaction se fait en huit ou dix minutes, quand l'émulsion est complète.

La troisième partie de l'appareil est la continuation du tuyau, courbée en serpentin et plongeant dans un réservoir d'eau froide; là se fait la condensation; la quatrième partie est le récipient qui reçoit le produit de la réaction. A cet effet la terminaison du tuyau porte une soupape chargée d'un poids suffisant pour équilibrer la pression intérieure. Si cette pression dépasse le poids d'équilibre, la soupape se soulève et le produit manufacturé s'écoule; la pompe qui travaille sans interruption rend l'opération continue. On a reproché, avec raison, à cet appareil l'énorme et inutile pression employée, l'insuffisance de l'émulsion, la corrosion intérieure du tuyau de fer, la coloration et la mauvaise qualité des produits; aucun fabricant en Europe n'a pu s'en servir utilement.

MM. Wright et Fouché tirèrent un meilleur parti de l'appareil

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Melsens ; ils le modifièrent et réalisèrent un appareil breveté, composé de deux forts cylindres en fer, placés l'un au-dessus de l'autre à une distance d'environ 2 mètres. Ces deux cylindres, égaux et terminés chacun par deux calottes sphériques, ont 0^m80 de diamètre sur 2 mètres de hauteur ; ils sont mis deux fois en communication par deux gros tubes en S.

L'un de ces tubes unit le bas du cylindre inférieur avec le bas du cylindre supérieur. L'autre tube unit le haut du cylindre inférieur avec le haut du cylindre supérieur. L'appareil est muni d'ailleurs de manomètres et de soupapes de sûreté ; il se remplit et se vide commodément.

Cela entendu, et les cylindres remplis convenablement d'un mélange de graisse et d'eau, le cylindre inférieur, qui seul est placé dans une maçonnerie, sur un fourneau convenable, est chauffé à une température de 180 à 200 degrés centigr. Il s'établit alors, par l'effet de l'équilibre des températures, une circulation constante entre le contenu des deux cylindres ; la graisse et l'eau, qui forment ce contenu, sont constamment agitées ensemble et mêlées. La réaction complète entre les deux substances s'établit sous la condition d'une pression intérieure de 12 atmosphères continuée pendant dix heures. Cet appareil a fonctionné avec assez de succès en Belgique et en Autriche ; nous avons nous-même observé sa marche et celle de quelques autres appareils modifiés ; dans bien des cas l'opération était satisfaisante et les produits très-beaux. Mais des irrégularités dans la marche, des accidents fréquents de fuites et de corrosions continuelles ont fait abandonner ces appareils ; la patience a manqué aux fabricants, ce qui est regrettable.

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

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

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 disposition, placer les parois de l'autoclave entre deux pressions, intérieure et extérieure, tout à fait égales et remédier ainsi à l'inconvénient signalé. Quelques produits fabriqués par ce genre d'appareils 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.

§ 3. — Réduction des acides en corps gras par l'eau aiguisée d'acide sulfurique.

Au troisième groupe des procédés et des appareils de saponification se rapportent deux progrès importants qui méritent toute l'attention des fabricants. Le premier est une conversion de l'appareil Melsens. Ce professeur avait reconnu que la seule action de l'eau donnait rarement aux acides gras produits les qualités physiques convenables pour une fabrication ultérieure. Les cristaux d'acide stéarique, au lieu d'être grands et larges, étaient souvent fins et microscopiques, ce qui s'opposait à l'élimination facile de l'acide oléique. Cet inconvénient est réel et paraît inhérent à tous les corps gras acidifiés par l'eau seule jusqu'à ce jour. M. Melsens trouva que l'addition de quelques centièmes d'acide sulfurique dans l'eau rendait aux acides gras toutes les qualités convenables. En outre l'opération elle-même de la saponification à l'eau fut singulièrement favorisée par cette addition. Dès lors, il modifia son appareil et le garnit à l'intérieur d'une paroi en plomb. On sait combien la mollesse et la déformation de ce métal s'opposent à la confection d'appareils solides; aussi l'appareil Melsens modifié

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est d'une construction difficile et d'une durée problématique.

M. de Milly fit faire à la question industrielle un pas très-important et rendit ces appareils tout à fait pratiques. Il se décida à construire un appareil en cuivre rouge et d'une résistance convenable, pour se débarrasser des inconvénients du fer et du plomb, et il ajouta au mélange de graisse et d'eau quelques centièmes de chaux; ce qui lui permit de réduire à 8 ou 10 le nombre d'atmosphères nécessaires à la saponification et d'avoir de bons produits. Son appareil fonctionne chez lui et dans beaucoup de fabriques avec un succès incontestable.

§ 4. — Distillation des corps gras à l'aide de la vapeur surchauffée, en les soumettant à l'action préalable de quelques centièmes d'acide sulfurique.

Ce procédé constitue le plus grand progrès accompli dans l'industrie stéarique depuis 1855, surtout dans son matériel de fabrication. Il est dérivé des travaux de M. Fremy relatifs à l'action de l'acide sulfurique sur les huiles (*Annales de Chimie et de Physique*, 1837), comme le procédé à la saponification calcaire est dérivé des travaux de M. Chevreul sur l'action des alcalis, sur les corps gras.

MM. G. Gwynne et G. Wilson, en Angleterre, ont tiré de ces données de la science un procédé pratique qui, après des améliorations successives, est devenu la base de l'industrie stéarique dans tous les pays du Nord. L'Angleterre, la Hollande, la Belgique, la Prusse, la Russie entretiennent d'immenses fabriques qui travaillent exclusivement par cette méthode; elle commence à être adoptée en France. Il est juste de reconnaître que, si le procédé chimique fut indiqué par un chimiste français, c'est un autre savant français, M. Dubrunfaut, qui indiqua le procédé opératoire : la distillation au moyen de la vapeur. Les progrès réalisés par cette méthode sont d'une haute importance. Au lieu d'un rendement moyen de 47 à 52 d'acide stéarique pour 100 de graisse, elle fait obtenir un rendement de 60 à 66. Elle réduit le capital de roulement dans une proportion sen-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

blable. Elle supprime tous les appareils précédents où le travail s'opère sous les énormes pressions de 8, 10, 12 atmosphères. La vapeur employée à la distillation est libre et se dégage sans obstacle. Mais cette méthode ne peut s'exécuter, en conservant tous ses avantages, qu'au moyen d'appareils distillatoires d'une construction bien entendue. Sous ce rapport, les appareils qui fonctionnent dans les fabriques tendent sans cesse à se modifier, pour se perfectionner; à peu près comme les appareils de distillation pour l'alcool se sont longtemps modifiés, avant d'atteindre leur perfection actuelle.

§ 5. — Appareil à distiller les corps gras de MM. Leroy et Durand.

MM. Leroy et Durand ont exposé le seul appareil à distiller les corps gras qui ait été présenté à l'Exposition de 1867. Il est profondément regrettable que le matériel de la stéarinerie n'ait pas été, sous ce rapport, plus largement représenté. Nous venons d'établir que la moitié au moins des fabriques d'acide stéarique fait usage de ce procédé, et ces appareils sont différents presque dans chaque fabrique. Une exposition plus nombreuse et plus variée eût été très-instructive, et aurait caractérisé sous un de leurs côtés les plus hardis les notables progrès accomplis par l'industrie stéarique. L'appareil présenté par MM. Leroy et Durand est encore assez primitif; mais il contient une petite addition imaginée par ces messieurs pour régler la vapeur surchauffée. A côté du fourneau destiné à surchauffer la vapeur au degré voulu, une chaudière carrée fait l'office de cucurbite. Elle est muraillée dans un massif de maçonnerie sans foyer. Le chapiteau donne passage au tuyau d'introduction de la vapeur surchauffée. Celle-ci est le résultat du mélange de deux vapeurs distinctes : l'une très-surchauffée, l'autre provenant directement du générateur. C'est le dosage de ces deux vapeurs à températures diverses qui règle la température de la vapeur surchauffée, destinée à opérer la distillation, en se divisant dans la cucurbite.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A cet effet, les robinets d'introduction des deux vapeurs sont ouverts ou fermés au moyen d'une roue dentée et d'une crémaillère. La crémaillère, soutenue par une chaînette qui passe dans la gorge de deux poulies, est tenue en équilibre par deux contre-poids opposés aux deux bouts de la chaînette. Il s'agit de faire mouvoir les contre-poids dans un sens ou dans l'autre : un petit appareil électro-magnétique est chargé de cet office. L'un de ses fils pénètre par le haut dans le tube manométrique, qui reçoit et indique la pression correspondant au degré de la vapeur surchauffée. On arrête le fil dans le manomètre à la hauteur désirée, et quand la colonne mercurielle s'élève assez pour se mettre en contact avec lui, le courant est établi. L'appareil électrique fonctionne, et, par son action sur l'un des contre-poids, ferme l'un ou l'autre des robinets. Cette disposition est ingénieuse. Sans vouloir lui donner une très-grande portée industrielle, elle permet cependant, en réglant la température, de prévenir les mauvais produits distillés qui résultent d'une température trop élevée; elle supplée à l'inattention des ouvriers, et sous ce rapport elle constitue un progrès évident. Nous ferons pourtant une remarque : c'est que dans un mécanisme aussi sujet à dérangement, il peut arriver que la vapeur, très-surchauffée, soit seule introduite, et l'inconvénient que l'on veut éviter atteint, dans ce cas, des proportions très-graves. Le refrigérant principal de l'alambic présente trois colonnes qui se refraîchissent au contact de l'air ; il est massif et manque de hauteur.

§ 6. — Machines diverses à mouler.

Parmi les autres machines exposées dans la classe 51, les machines à mouler les bougies stéariques méritent d'arrêter notre attention. L'immense développement qu'a pris l'industrie stéarique depuis 1855 nécessitait des procédés de moulage d'une grande rapidité. Un enfilage continu des mèches à bougie dans les moules, des moyens rapides de réfrigération,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

obtenus par des ventilateurs ou par l'eau froide, sont devenus des nécessités réclamées par tous les fabricants.

M. Marshall, de Londres, avait introduit dans l'industrie l'enfilage continu; quelques fabricants avaient essayé le chauffage des moules par la chaleur rayonnante des tuyaux de vapeur, et leur réfrigération par des courants d'air froid, quand MM. Cahouet et Morane concentrèrent entre leurs mains l'industrie des machines à mouler. M. Morane, qui a fait dans la classe 51 une exposition très-variée, s'efforça de répondre aux besoins de l'industrie stéarique par la construction intelligente de machines basées sur les principes précédents. Bien que ces machines laissassent encore beaucoup à désirer, il les multiplia de façon à satisfaire aux pressantes nécessités des fabricants. Plus récemment, MM. Galabrun frères, autres exposants de la classe 51, les suivirent dans cette voie.

§ 7. — Machines à mouler de M. Morane.

Les machines à mouler exposées par M. Morane sont très-variées. Dans les unes, la réfrigération a lieu à l'aide d'un ventilateur, dans les autres, au moyen de l'eau. Un troisième modèle enfin est destiné à mouler les bougies de paraffine.

La machine principale, la plus ancienne, celle à ventilateur, a été répandue à profusion, surtout en France, et a rendu les services que nous avons déjà signalés. Elle a évidemment servi de modèle à la machine de MM. Galabrun, que nous décrirons dans l'instant, sauf le mode de réfrigération.

La machine type de M. Morane, dont il n'est pas besoin de reproduire les dimensions, présente dix parcs de vingt moules à bougie. Ils sont contenus dans une boîte unique en cuivre jaune. Un tuyau de vapeur placé latéralement distribue neuf branches correspondant à l'intervalle de séparation de deux parcs consécutifs. Quand les moules ont la chaleur voulue et que les bougies sont moulées, un ventilateur à palettes, placé à la tête de la boîte, produit une rapide insufflation d'air qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

refroidit promptement les moules. Malgré les services incontestables que cette machine a rendus, on peut surtout lui reprocher de chauffer et de refroidir assez inégalement. Le chauffage et la réfrigération au moyen de l'eau, réalisant une égalité parfaite pour tous les moules dans les deux termes de température, permettent d'obtenir un moulage plus parfait. MM. Morane et Galabrun ont également exposé des machines destinées à réaliser ce dernier progrès. Les différences sont légères. Voici la description de celle de MM. Galabrun, description qui pourra donner une idée de la construction des machines à mouler en général. Dix parcs à 20 bougies, dont les cuvettes ont 0^m 40 sur 0^m 13 de large sont isolément contenus dans dix boîtes de cuivre jaune. Un appareil de distribution d'eau chaude ou froide envoie deux tuyaux à chaque boîte, l'un supérieur pour l'entrée, l'autre inférieur pour la sortie de l'eau. Des robinets servent à en régler l'usage. Toute cette partie de la machine est exécutée avec un soin remarquable.

Le châssis en fer de 2 mètres de long sur 0^m90 de hauteur qui soutient les parcs comprend à sa partie inférieure une caisse fermée, où sont conservés à l'abri les pelotons de mèches dressés sur leurs bobines. Ceux-ci se dévident, et le bout de mèche passe par un trou supérieur, à mesure que les bougies, moulées et refroidies, sont extraites des moules et soulevées d'une quantité égale à leur longueur. Les mèches qui adhèrent encore à la tête des bougies sont dévidées par le mouvement d'extraction et remplacent celles-ci dans le moule.

Un châssis soulevé par quatre crémaillères et deux manivelles fait sortir des moules et soulève à la hauteur voulue les 200 bougies après chaque coulée. Toute l'exécution de cette machine est soignée.

La machine à mouler la paraffine exposée par M. Morane est une machine à eau ; elle présente seulement un détail destiné à surmonter une difficulté inhérente au moulage de la paraffine. Cette substance, fondue et chauffée, s'écoule avec une grande facilité par la tête des moules, malgré l'obturation

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

causée par la mèche. M. Morane a garni la tête de ses moules d'un ressort à boudin qui produit au moment du moulage une obturation plus complète.

La fabrication des presses hydrauliques a fait aussi des progrès qu'il est juste de constater. La dimension des surfaces soumises à la pression a été augmentée, un peu aux dépens de la force. Mais la nécessité où sont placés les fabricants de produire beaucoup, pour produire à bon marché, a été en grande partie satisfaite. Le chauffage des plaques a été perfectionné, en améliorant les plaques creuses qui reçoivent la vapeur de chauffage dans leur intérieur.

Une presse hydraulique horizontale à chaud exposée par MM. Galabrun peut donner une idée de ces puissantes machines. Elle a 28 plaques creuses en fer forgé à 2 parois boulonnées. La vapeur destinée à les chauffer est introduite à leur bord supérieur par un tube partie en fer, partie en caoutchouc, pour s'adapter au mouvement des plaques. Quatre tirants en fer forgé carré, horizontaux, de 0^m09 de côté sur 3^m45 de long, unissent la tête et le cylindre de la presse, et comprennent l'espace dans lequel les plaques chauffées et les sacs placés entre elles subissent la pression.

Le cylindre en fonte, mesurant 1^m33 de long sur 0^m68 de diamètre, contient un piston de 0^m30 de diamètre. La tête du piston est dirigée dans sa course par deux rouleaux qui se meuvent sur les deux tirants supérieurs. La tête de la presse est terminée par une pièce de fonte pleine qui n'a que 0^m24 d'épaisseur, ce qui est peu pour résister à la force de pression, vu la distance d'écartement des tirants qui est de 0^m45. En somme, la presse est bien construite. Elle répond aux besoins d'une grande fabrication. Elle est réduite au poids de métal strictement nécessaire pour ses dimensions. Mais elle n'a rien de bien nouveau. Nous signalerons seulement la pompe d'injection, destinée à produire la pression en forçant l'eau entre le cylindre et le piston. Elle présente une disposition commode pour monter et démonter les clapets.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Morane a exposé des presses chaudes qui, pour la construction des cylindres, des pistons, des plaques creuses, exécutées au moyen du laminage, ne laissent rien à désirer et réalisent les progrès accomplis jusqu'à présent. Mais dans d'autres modèles exposés, dans ceux particulièrement qui représentent des presses à deux cylindres opposés, il nous est difficile de constater un progrès réel. Nous en dirons autant de l'*accumulateur* qu'ils ont adapté à plusieurs de ces instruments, accumulateur bien connu des ingénieurs et dont nous trouvons inutile de nous occuper.

Ce rapide examen du matériel de la stéarinerie et des modèles intéressants exposés dans la classe 51 peut donner une idée des progrès nombreux et variés que l'Exposition de 1867 a mis en relief. L'industrie stéarique est une de celles qui, depuis 1855, ont le plus occupé le génie inventif et l'activité des constructeurs de machines.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

USINES A GAZ

PAR M. EUGÈNE PELOUZE.

D'importants progrès ont été réalisés dans l'industrie de l'éclairage par le gaz, tant au point de vue de la disposition des appareils de fabrication et de consommation que sous celui de l'utilisation des nombreux produits qui résultent de la distillation de la houille. De tous côtés, on s'est efforcé de rendre l'emploi du gaz facile et commode : des appareils ingénieux ont été imaginés, afin de garantir au public la quantité et la qualité d'une matière qu'il applique maintenant à des usages si divers. Dans les villes, des expériences photométriques sont régulièrement faites, à l'aide d'instruments des plus précis, pour déterminer le pouvoir éclairant, et des compteurs habilement construits permettent de mesurer avec exactitude le volume du gaz consommé. Cette simplification introduite dans les appareils d'éclairage, et les garanties données au public sur la marchandise qui lui est fournie, expliquent la progression non interrompue que l'on remarque dans la consommation du gaz (1).

Tant d'industries diverses tirent profit de la fabrication du gaz, que nous ne pourrions, sans empiéter sur le terrain d'un

(1) Ainsi, la consommation du gaz fourni par la Compagnie parisienne, pour l'éclairage et le chauffage par le gaz, qui n'était, en 1856, que de 57,335,175 mètres cubes, s'est élevée, en 1866, à 122,346,605 mètres cubes. L'augmentation a donc été, pendant les dix dernières années, de 75 millions de mètres cubes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grand nombre de classes de l'Exposition universelle, examiner les sous-produits dérivés des goudrons, auxquels la découverte des couleurs d'aniline a donné une si grande importance, non plus que les appareils proprement dits d'éclairage ou de chauffage par le gaz : nous n'avons à étudier ici que le matériel des usines à gaz. Encore même ce matériel est-il si varié dans ses formes et dans son but, que nous devrons parfois sortir de la classe 51, qui en contient la partie la plus importante. Ce que nous devons considérer avec le plus d'intérêt, c'est l'appareil de production du gaz, la cornue de distillation de la houille.

§ 1. — Cornues en terre pour la distillation de la houille.

On sait que partout où la fabrication du gaz a pris quelque importance, la cornue en terre cuite, en raison de son bas prix et de sa plus longue durée, a remplacé la cornue en fonte, qui n'est plus seulement employée que dans les cas très-peu nombreux où l'irrégularité de la fabrication entraînerait à des accidents dont la répétition et la dépense absorberaient l'économie de premier établissement. La production des cornues en terre a donc pris une très-grande importance, en raison des services qu'elle est appelée à rendre ; les fabricants de produits réfractaires de France et de l'étranger en ont envoyé de très-beaux spécimens à l'Exposition. Bien que les cornues affectent des formes différentes, circulaires, elliptiques ou autres, celles dont on fait le plus généralement usage, et dont, pour cette raison, le nombre domine à l'Exposition, ont le corps en forme d'un ⊂ renversé, à angles légèrement arrondis : les cornues de cette forme ont l'avantage d'offrir une surface de chauffe considérable, tout en ayant la hauteur exigée par la production du coke, qui occupe, comme on le sait, un volume plus considérable que celui de la houille, qui le fournit. Leur dimension moyenne est de 2 mètres 50 centimètres de longueur, sur une hauteur de 40 centimètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces pièces ne doivent pas seulement résister à des chaleurs élevées, elles doivent surtout pouvoir passer impunément par les variations particlles et considérables de température auxquelles les expose le chargement brusque de houille menue, froide et humide, le chargement des cornues se faisant ordinairement quand elles sont au rouge vif. Elles doivent enfin pouvoir résister convenablement à l'influence destructive qui résulte de leur position dans le four : le corps de la cornue y est chauffé au blanc, tandis que la portion antérieure, raccordée à une tête en fonte et scellée dans le masque du four, reste relativement à une basse température. Cette condition est des plus fatales, et les cassures les plus fréquentes sont celles qui ont lieu entre cette partie froide de la cornue et la partie antérieure. La fabrication des cornues à gaz en terre réfractaire exige donc les plus grands soins.

La porosité de ces cornues occasionne une perte de gaz assez sensible pendant les premiers jours de leur emploi, mais il se forme très-rapidement à l'intérieur des cornues un dépôt de charbon, par suite de la décomposition des gaz et des hydrocarbures provenant de la distillation de la houille ; ce charbon, très-dur, à grain très-fin et homogène, qualités qui le font rechercher pour divers usages, en tapissant l'intérieur des cornues, s'oppose à l'échappement des gaz. Aussi ne croyons-nous pas que les essais de silicatisation, entrepris pour remédier à cette porosité des cornues, aient grand avenir, d'autant plus que l'inégalité de dilatation des parties silicatisées et des terres composant la cornue peuvent avoir de bien plus sérieux inconvénients.

Les appareils dits *extracteurs*, employés maintenant dans toute usine d'une certaine importance, en diminuant la pression que le gaz exerce sur la cornue, empêchent, du reste, dans une large part les pertes de gaz provenant de l'emploi de cornues nouvellement en charge.

La briqueterie de la Compagnie parisienne du Gaz semble avoir résolu avec un grand succès les difficultés que présente

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la fabrication des cornues à gaz : une cornue figurant à l'Exposition, après avoir été montée une première fois, refroidie, puis remise dans un autre four et retirée enfin, après exercice régulier, sans cassure, capable par conséquent d'être réemployée une troisième fois, témoigne de la perfection à laquelle a été portée cette fabrication. Cette cornue présente encore une particularité remarquable : l'épaisseur consacrée tout d'abord était de 10 centimètres ; elle n'est plus maintenant que de 5 centimètres. On comprend combien cet amoindrissement de l'épaisseur des cornues apporte de facilité au passage du calorique et à la prompte distillation de la houille.

Une fabrication particulière, dont les produits sont exposés par la Compagnie parisienne, mérite aussi de fixer l'attention. Il s'agit de pièces destinées à d'autres usages que la construction des foyers, et qui n'ont plus besoin de posséder des qualités réfractaires : ce sont des carreaux de dallage pour les ateliers, des caniveaux pour l'écoulement des eaux, etc. Ces produits sont obtenus avec des argiles communes, celles de Gentilly, par exemple, et des mâchefers pulvérisés, comme ciment.

La pâte ainsi formée est très-dense, très-compacte, un peu vitrifiée ; elle peut donc servir très-convenablement aux usages auxquels on la destine, et remplacer avantageusement les carrelages d'ateliers, fort mal et très-chèrement exécutés, jusqu'à cette solution, en briques de champ ou en pavés.

La Compagnie parisienne produit annuellement pour elle ou pour la vente 3,000 cornues, 100,000 pièces de four et carreaux, enfin 1 million de briques réfractaires. Cette fabrication présente un poids total de produits cuits qu'on peut évaluer, très-approximativement, à 6 millions de kilogrammes.

MM. Bouquet et C^ie^, à Lyon, fabriquent des cornues et des pièces de four d'une qualité excellente. Les cornues tiennent parfaitement au feu portées seulement à la tête et au fond, et cela même quand elles sont placées au-dessus du foyer, sans interposition de voussoirs les protégeant du coup de feu. Elles sont faites en terre de Bollène, dégraissées avec des quartz

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

provenant des cailloux roulés de la Saône et du Rhône. Ces grains de quartz sont assez volumineux. Les cornues sont recouvertes d'un émail noir qui a la composition suivante :

Alquifoux (galène).....	54
Sable siliceux	24
Oxyde de manganèse.....	15
Battiture de fer.....	7
	100

MM. Bousquet prétendent, à l'aide de cet enduit, rendre leurs cornues moins sensibles aux variations de température. Il est probable que cette couche a surtout pour but de dispenser d'un polissage extérieur la cornue, et de rendre invisibles les petites gerçures qui sont inévitables dans ces surfaces polies. Nous pensons que ces couches superficielles, détruites au feu après un certain temps, ne peuvent exercer qu'une faible influence sur la perméabilité de la cornue. L'expérience démontre l'excellence des produits de cette maison, dont les relations commerciales sont des plus étendues.

Les produits de MM. Dalifol et Huet sont d'une bonne fabrication. Cependant leurs cornues sont moulées d'après un système qui présente des inconvénients. Le moulage par plaques appliquées extérieurement sur un mandrin ou noyau donne des produits inférieurs au moulage dans un moule. Il y a des lignes de soudure assez longues, et les cornues peuvent se fendre dans le sens de la longueur plus facilement qu'en travers.

M. Henri Jousseaume, à Ivry, continue l'exploitation de M. Bina, fondateur de la fabrication des cornues en terre à Paris ; il expose des produits qui soutiennent la vieille réputation de cette maison. Toutefois, son exposition est loin d'être aussi intéressante que celle de MM. Muller et C^ie^, dont les ateliers sont également à Ivry-sur-Seine : les cornues, les pièces de four et produits réfractaires de cette usine sont d'autant plus remarquables qu'ils sont préparés en vue des condi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tions spéciales d'altération auxquelles leurs usages les exposent. La composition des terres varie avec l'application du produit réfractaire. C'est une idée très-heureuse, qui produira sans doute les meilleurs résultats.

Les produits réfractaires exposés par la Belgique sont comparables, par leurs excellentes qualités, avec ceux des maisons françaises que nous venons d'indiquer : la Société anonyme d'Andenne; M. Coste, à Namur; l'usine de Saint-Ghislain; madame veuve de Fuissaux, à Baudour; MM. Delattre et C^ie^, à Couillet; MM. Parmentier, à Jumet; Lecat, à Baume, exposent de remarquables produits réfractaires.

Nous adresserons les mêmes éloges aux exposants autrichiens : M. le comte E. Larrisch-Mönnich, à Polnischlurter; M. A. Richter, à Zabehlitz; aux produits de MM. J. Cliff et fils, à Wortley-Leeds (Grande-Bretagne); de l'usine Hoganoes (Suède), et surtout à ceux de MM. I. Wygen et C^ie^, à Duisbourg (Prusse).

Les cornues à gaz exposées par cette dernière maison n'ont que 0 ^m^ 054 d'épaisseur. Ce fait confirme précieusement la réduction apportée par la Compagnie parisienne, et dans le même sens, à l'épaisseur de ses appareils.

Les produits réfractaires à base de plombagine exposés par les Anglais sont les seuls de ce genre qui soient vraiment d'une qualité supérieure, grâce au graphite pur que leur fournissent leurs possessions des Indes. Nous ne pouvons que signaler ici ces produits, plus spécialement destinés à d'autres industries qu'à celle du gaz.

§ 2. — Fours, gazomètres et régulateurs.

La Compagnie parisienne expose un modèle de four à 7 cornues, adopté maintenant dans toutes ses usines comme étant celui qui donne les meilleurs résultats. Les fours sont adossés deux à deux. En portant à plus de 7 le nombre des cornues dans un four, on rend le service plus difficile : les cornues sont

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moins grandes, et l'espace qui les sépare est tellement restreint qu'on ne peut plus soutenir la cornue que d'une façon incomplète.

Une grande partie de la chaleur développée par la houille ou le coke qu'on emploie au chauffage des cornues est perdue dans les fours à gaz ordinaires ; aussi de nombreux essais ont-ils été entrepris pour appliquer le système Siemens à la distillation de la houille. Quoique les résultats de cette application laissent encore à désirer, et qu'on ne puisse penser à réaliser à l'aide de ce système, dans l'industrie du gaz, des économies de combustible aussi grandes que dans les verreries, les cristalleries, les usines à souder le fer et l'acier et autres fabrications ayant besoin de chaleurs très-élevées, tout fait espérer qu'on parviendra à utiliser avantageusement le procédé de M. Siemens dans les usines à gaz.

L'allumage des fours Siemens ne présente pas plus de dangers que la mise en service des canalisations nouvelles, la purge des gazomètres, etc., opérations qui sont familières à tous les régisseurs des usines à gaz ; on peut, en prenant des précautions, maintenir le gaz combustible en pression dans le générateur, c'est-à-dire, en laissant à cet appareil un excès de puissance, obtenir une température régulière qui n'excède pas celle des fours ordinaires ; on peut rester longtemps sans toucher au règlement des fours. Il n'est pas douteux qu'on arrive un jour à diminuer les dépenses d'établissement et de main-d'œuvre, qui, trop élevées jusqu'ici, font perdre le bénéfice résultant de l'économie du combustible lorsqu'on emploie le système Siemens.

Le gazomètre à genouillères de Pauwels est celui qui est le plus en usage en France ; en permettant au gaz d'arriver par la partie supérieure, il évite l'établissement des siphons de vidange, qui, avec les autres formes, doivent traverser l'intérieur de la maçonnerie de la cuve du gazomètre.

En Angleterre, on emploie beaucoup le gazomètre à télescope, formé de plusieurs cylindres s'emboîtant les uns dans

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les autres et s'élevant sous la pression exercée par le gaz ; cette forme de l'appareil permet son installation sur une moindre superficie de terrain. C'est le seul avantage qu'elle présente, et il ne compense pas les inconvénients d'instabilité d'équilibre inhérents au gazomètre télescopique.

C'est aussi le régulateur Pauwels qui, à cause de son extrême simplicité, est employé généralement pour assurer au gaz la pression constante d'où dépend l'uniformité de l'éclairage. C'est une cloche dans laquelle le gaz arrive par un tuyau muni d'un obturateur conique qui, selon les différences de pression, s'avance ou descend, c'est-à-dire rétrécit ou augmente l'orifice d'écoulement du gaz : il suffit de changer le gazomètre de poids pour diminuer ou augmenter la pression, indiquée et réglée par la hauteur donnée à la cloche du gazomètre.

Le service de l'éclairage d'une ville a des exigences si variables, la consommation du gaz diffère tellement d'un moment à l'autre, qu'il ne nous paraît pas prudent de recourir à l'emploi de régulateurs automoteurs, quelque ingénieux qu'ils puissent être dans leurs dispositions.

Les régulateurs exposés par M. Giroud ne nous paraissent donc pas devoir être appliqués aux usines, surtout quand, par la canalisation, ces usines sont établies de manière à se suppléer au besoin, pas plus qu'aux divers réseaux d'un grand éclairage.

Ces instruments, habilement construits, et qui ont justement attiré l'attention, peuvent cependant rendre de vrais services au consommateur lorsqu'ils sont établis à la suite du compteur : ils permettent, mieux que les autres appareils de ce genre, d'éviter les variations dans les dimensions de la flamme, et d'employer des becs à basse pression, avec lesquels il y a moins de pertes de gaz.

§ 3. — Canalisation.

La longueur de la canalisation servant à la distribution du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

gaz, pour la Compagnie parisienne seule, est d'environ 1,300,000 mètres, d'un diamètre variant de 0m 700 à 0m 108, non compris la longueur de près de 1,600 colonnes montantes, destinées, dans les maisons, à mettre le gaz à la portée des étages supérieurs. Ces chiffres font comprendre la nécessité d'examiner ici les tuyaux ou conduites figurant à l'Exposition universelle, non pas comme produits métallurgiques, selon leur classement, mais au point de vue de leur application à l'émission du gaz.

L'Exposition de 1867 contient des spécimens de tuyaux dignes de fixer l'attention des constructeurs : ils sont remarquables à la fois par la diminution des épaisseurs et l'augmentation des longueurs, conditions qui permettent de diminuer le prix de revient de la canalisation, en même temps qu'elles réduisent dans une proportion directe l'importance des fuites, en nécessitant moins de joints.

La maison Pinart et Cie, de Marquise, expose des tuyaux en fonte ayant des diamètres qui varient depuis 0m 05 jusqu'à 1m 10 et des longueurs qui atteignent 4 mètres. Cette fabrication, déjà si remarquable, n'est pas encore cependant parvenue à la limite du possible au point de vue des épaisseurs, qu'il importe encore de réduire, mais elle y parviendra certainement.

L'annexe de la Belgique contient un tuyau de fonte exposé par M. Van der Elst, de Braine-le-Comte, digne d'être remarqué : cette pièce a seulement 0m009 d'épaisseur, et cependant son diamètre est de 0m70; son exécution paraît ne rien laisser à désirer. Quoiqu'il s'agisse ici d'un produit sans doute exceptionnel, non choisi dans une fabrication courante et commerciale, puisqu'il est le seul type de son espèce, on peut assurer, sans crainte d'erreur, que la fonderie qui l'a fait saura en répéter l'exécution assez économiquement pour offrir à l'industrie du gaz une ressource qui lui serait éminemment précieuse. Enfin, on trouve dans la grande galerie et dans le rayon de la Prusse une exposition faite par la maison

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Wever, de Barmen, de tuyaux à bride et à emboîture d'une épaisseur relativement très-réduite, qui doivent être d'un excellent usage.

On est donc fondé à dire que les tuyaux en fonte peuvent être exécutés en France avec une épaisseur beaucoup moins grande que celle qui leur est actuellement donnée.

MM. Chameroy et C^ie^, de Paris, exposent des spécimens de tuyaux en tôle étamée et recouverte de bitume, qui sont, pour ainsi dire, exclusivement employés pour la distribution du gaz dans Paris et dans un grand nombre de villes. Ces tuyaux offrent une grande étanchéité, et, à ce point de vue surtout, ils méritent bien la haute préférence qui leur a été accordée pour la canalisation de Paris. Cette supériorité est manifestement exprimée par le chiffre de la canalisation posée dans Paris avec ce système :

Il y avait avant 1865....	380,000^m^	tuyaux Chameroy.
Il a été posé depuis.....	703,376	—
Ce qui présente un développement total de.....	1,083,376^m^	—

Ce chiffre est loin, bien entendu, de représenter la longueur totale des tuyaux fabriqués par la maison Chameroy, mais il témoigne hautement de la supériorité qui leur est reconnue.

§ 4. — Compteurs à gaz.

La mesure du gaz livré par les compagnies à leurs abonnés présente un problème délicat et difficile à résoudre. Plusieurs appareils l'ont cependant résolu et remplissent les conditions imposées par le besoin de sauvegarder les intérêts réciproques des compagnies d'éclairage au gaz et de leurs abonnés. La fabrication des compteurs exige le concours d'hommes soigneux et intelligents, apportant dans leur travail une attention toute particulière, et surtout une parfaite régularité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

A Paris, les compteurs à gaz, considérés comme des instruments de mesure, sont soumis au poinçonnage de la préfecture de police. Cette seule condition assure au public que ces instruments sont exacts à moins de 2 pour 100 près.

Un grand nombre de maisons figurent à l'Exposition universelle pour la fabrication des compteurs à gaz.

La maison J. Brunt et C^ie^, de Paris, y occupe un rang distingué : non-seulement ses produits commerciaux s'y présentent avec une perfection d'exécution qui les font justement apprécier, mais ils contiennent aussi des objets qui les rendraient dignes de figurer parmi les instruments de précision. Ce sont des appareils de jauge destinés à la vérification des compteurs employés par la ville de Paris pour la constatation du pouvoir éclairant du gaz, et aussi des manomètres sensibles et précis pouvant servir à la mesure des différences des pressions s'exprimant par des centièmes de millimètres de hauteur d'eau.

Il est impossible d'entrer dans l'examen de tous les objets exposés par MM. Brunt et C^ie^, nous ne pouvons que répéter qu'ils sont remarquables par le haut degré de perfection qui préside à tout l'ensemble de leur fabrication.

MM. Siry-Lizars et C^ie^ ont également le privilége justement mérité de la fourniture des compteurs à gaz aux consommateurs de la ville de Paris.

Enfin, M. J. Williams, de Paris, se fait aussi remarquer par l'exécution scrupuleuse de ses appareils.

MM. Glover et C^ie^ et M. N. Defries, la Gas-Meter Company, M. W. Sugg, la London and Westminster Company, M. Duckham, MM. Newton et Braddock, exposent des compteurs à gaz, de différents systèmes, en usage dans la Grande-Bretagne. Les objets exposés par ces fabricants sont généralement bien construits et intéressants. Nous ne trouvons cependant rien dans les appareils anglais qui surpasse, comme fabrication, les produits des maisons parisiennes que nous avons indiquées.

Les compteurs secs à gaz exposés par la Gaz-Meter Company,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par M. T. Glover et plusieurs autres maisons, ne nous paraissent présenter aucun avantage sur le compteur ordinaire.

Parmi les autres exposants étrangers, M. S. Elster, de Berlin, est celui qui mérite le plus d'éloges pour la construction de ses compteurs à gaz.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III

MATÉRIEL DE LA PHARMACIE

PAR M. AMÉDÉE VÉE.

Si les matières premières de la pharmacie changent avec les variations de la thérapeutique et s'enrichissent des découvertes incessantes de la chimie ou de l'histoire naturelle, les manipulations qu'on leur fait subir restent toujours à peu près les mêmes, au moins en ce qui concerne les préparations que l'on peut appeler plus spécialement pharmaceutiques, pour les distinguer des opérations analytiques et synthétiques, qui sont du domaine de la chimie. Aussi le matériel de la pharmacie, fixé en quelque sorte par la tradition, ne se perfectionne-t-il que très-lentement, et ne doit-on pas s'étonner que le nombre des exposants soit restreint dans cette spécialité. Il serait moindre encore sans les changements survenus dans les conditions de la production des médicaments. Leur préparation s'effectuait naguère isolément dans chaque officine, le pharmacien passant alternativement du travail du laboratoire au commerce de détail, et n'ayant recours que très-exceptionnellement aux préparations fournies par le commerce; mais le jour où des fabriques importantes ont été établies, il a fallu reconnaître que beaucoup de produits, surtout ceux qui possèdent une composition chimique définie et des caractères d'une constatation facile, pouvaient leur être avantageusement demandés. Devant leur concurrence, et par suite d'autres causes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

secondaires, l'activité des laboratoires particuliers a singulièrement diminué, et en même temps que ce changement se produisait, le commerce des spécialités pharmaceutiques se développait. Profitant des facilités offertes par l'augmentation des moyens de publicité et la plus grande rapidité des communications, quelques pharmaciens s'adonnaient exclusivement à la fabrication de produits particuliers, les faisaient accepter du public et des médecins, et leur créaient, à l'étranger aussi bien qu'en France, des débouchés importants. On conçoit que les instruments primitifs de l'ancienne pharmacie soient restés insuffisants pour les laboratoires de grande production, qui ont dû emprunter d'abord aux industries analogues une partie de leur matériel, puis se sont trouvés en face de problèmes particuliers à résoudre. Les solutions qui leur ont été données seront surtout le sujet de cette courte revue.

§ 1. — Chauffage à la vapeur.

Le chauffage à la vapeur a remplacé aujourd'hui l'application directe du feu dans tous les grands laboratoires ; c'est une réforme des plus utiles au point de vue de l'économie, et surtout au point de vue d'une régulière action de la chaleur, mais elle n'a pas pénétré, du moins en France, dans les officines ordinaires. C'est que l'établissement d'un générateur distinct, sujet d'ailleurs, jusque dans ces derniers temps, à des formalités qui ont été heureusement simplifiées, ne laisse pas que d'entraîner d'assez grandes difficultés de dépense et d'emplacement ; nous voudrions voir nos constructeurs imiter ce qui se fait dans les pays de l'Allemagne et du nord de l'Europe, dont les exposants nous ont montré des *appareils à vapeur* fort heureusement combinés; ils auraient sans doute à introduire bien des modifications de détail, à changer surtout l'importance relative des différentes parties de l'appareil, pour permettre la préparation en quantités notables de certains médicaments peu demandés en Allemagne, fort employés en France ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais le principe de la réunion sous un volume restreint, au-dessus d'un générateur unique, des principaux appareils de laboratoire, dont l'ensemble formerait une sorte de meuble assez facilement transportable, trouverait sans doute faveur auprès des praticiens français.

La question de l'utilisation de la chaleur ne présente pas moins d'importance dans les laboratoires de pharmacie que dans ceux de toute autre industrie, et on voudrait pouvoir recouvrer en particulier celle qui est emportée par les vapeurs des liquides que l'on évapore. On y arrive assez facilement, avec des appareils montés en vue d'un travail régulier, en faisant servir les liquides qui doivent être introduits dans l'alambic à condenser les vapeurs qui s'en échappent. En pharmacie, de telles dispositions s'introduisent avec peine, parce que la nature des opérations varie chaque jour, et que le même instrument doit servir à plusieurs fins. M. André Pontier expose des appareils, les *érorateurs*, disposés pour diminuer les pertes provenant de la cause ci-dessus indiquée, mais sur lesquels il serait prématuré de porter un jugement définitif.

§ 2. — Machines à pastilles.

Il n'en est pas de même des machines à pastilles de M. Derriey, déjà représentées par un dessin à l'Exposition de 1855, et qu'on a pu voir fonctionner à la place occupée par la Compagnie de Vichy, mécanismes précis et rapides, qui ont remplacé la main de l'ouvrier dans toutes les fabrications de quelque importance. Leur introduction a eu pour conséquence, indépendamment de l'économie qu'on en pouvait attendre, la disparition des anciennes tablettes médicinales, dont la régularité, variable avec l'habileté de chaque préparateur, était peu rassurante pour la certitude du dosage. Elles ont été remplacées par des disques de dimensions uniformes, timbrés de chaque côté comme des pièces de monnaie, et présentant ainsi, avec le nom du médicament, garantie contre les erreurs, la marque du

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vendeur, témoignage de sa responsabilité. Il existe, en dehors de l'Exposition, des machines à pastilles dont les dispositions n'ont pas été portées par leurs auteurs à la connaissance du public; elles sont réservées à des fabrications spéciales, et toute comparaison devient ainsi impossible entre elles et celles de M. Derriey.

§ 3. — Capsules.

Une des innovations les plus heureuses dans la manière de présenter les médicaments de saveur et d'odeur désagréables, est l'invention des capsules sphéroïdes, formées d'une enveloppe imperméable aux odeurs, mais soluble dans l'eau, dont la cavité reçoit la substance active. On doit s'efforcer, dans leur fabrication, de diminuer le poids de l'enveloppe, matière inerte, pour augmenter la proportion du contenu; on y est parvenu en substituant aux capsules anciennes, de forme ovoïde, préparées par immersion d'un moule métallique dans une dissolution gélatineuse, remplies et bouchées après coup, des globules résultant de la compression d'une sorte de sac rempli de liquide entre deux plaques creusées de trous hémisphériques qui se correspondent exactement. Ici encore tous les inventeurs n'ont pas répondu à l'appel qui leur a été fait. Nous ne pouvons juger que ce que nous avons sous les yeux, et constater que l'appareil exposé par M. Viel, de Tours, réunit les conditions d'un excellent usage.

§ 4. — Appareils divers.

Les instruments dont il est fait mention dans les lignes qui précèdent réunissent au plus haut point le double mérite de la difficulté vaincue et de l'utilité pratique ; ils sont accompagnés d'un certain nombre d'autres procédés qui sont encore dignes d'attention. Au milieu de l'exposition de M. Berjot, recommandable principalement par des appareils dont l'appréciation ne rentre pas dans notre cadre, se trouve une machine à divi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ser le mercure dans l'axonge dont le principe paraît excellent. M. Viel nous montre, outre son capsulateur, un pilulier circulaire d'une application avantageuse. La préparation et l'inhalation de l'oxygène ont été rendues plus faciles aux personnes inexpérimentées par les appareils de M. Limouzin. MM. Desmarets, Poirier et plusieurs exposants étrangers présentent des instruments de types connus, dont la fabrication est soignée.

En résumé, le matériel de la pharmacie semble avoir reçu, dans ces dernières années, autant de perfectionnements qu'il était raisonnable d'en attendre. D'autres progrès sont imminents. Les appareils à produire le froid, déjà employés comme moyen de concentration dans des exploitations industrielles considérables, et près des sources d'eaux minérales, ne peuvent manquer de s'introduire prochainement dans les laboratoires pour la préparation des extraits; il suffira que l'attention de leurs inventeurs se dirige du côté de cette intéressante application. Une machine à fabriquer les pilules rendrait de grands services. Beaucoup d'appareils en usage dans les industries voisines pourront encore être adaptés aux exigences de la pharmacie. L'impulsion est donnée, et les utiles effets ne peuvent manquer de se faire bientôt sentir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IV

PRÉPARATION DES TABACS

PAR M. CAVARÉ FILS.

Chaque espèce de tabac fabriqué : poudre, scaferlati, cigares, rôles, exige que les feuilles de tabac, avant d'être livrées au consommateur, aient traversé une série d'opérations longues et délicates ; il y aurait un livre intéressant à faire sur l'étude et la comparaison des divers systèmes et des appareils variés qui sont en usage dans les manufactures de France, d'Autriche, etc. Quoique ce travail n'ait pas encore été fait jusqu'ici, nous ne saurions avoir l'intention, dans ces quelques pages, d'en tracer même l'esquisse. Du reste, le savant mémoire sur les machines-outils, inséré par le général Poncelet dans le rapport sur la première Exposition de Londres (1), et dans lequel les machines employées dans les manufactures françaises de tabac, en 1855, ont été décrites, nous permettra de passer très-rapidement sur des appareils importants, mais déjà connus, et de consacrer quelques détails à ceux qui ont été inventés depuis cette époque.

Les pays étrangers n'ont exposé que quelques hachoirs et une machine à cigares. En France, la direction générale des manufactures de l'État a réuni les modèles réduits des principales machines. Pour opérer avec ordre, nous prendrons

(1) Exposition universelle de 1851. *Travaux de la Commission française* t. III, p. 398, 413 et 599.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

successivement chaque variété de tabac fabriqué, et nous indiquerons les appareils qui ont servi à le produire.

§ 1. — Poudre, ou tabac à priser.

Entre les diverses préparations du tabac, celle de la poudre est la plus longue et la plus difficile ; nous pouvons dire hardiment que la méthode employée en France est la plus parfaite, celle qui donne des produits de qualité toujours constante, et dont la réputation est partout favorablement établie.

Après avoir subi les opérations préliminaires de l'époulardage et de l'écabochage, le tabac, mouillé avec de l'eau salée, est découpé en lanières de 1 centimètre de large : c'est le hachage de gros. A l'origine, on se servait pour obtenir ce résultat d'un simple couteau mobile autour d'une charnière fixée à une table. L'ouvrier, de la main droite, soulevait et abaissait le couteau, et, de la main gauche, faisait avancer le paquet de feuilles de tabac. Les lanières ainsi obtenues étaient d'inégale largeur, et le rendement très-faible.

La machine hollandaise constitua tout d'abord un immense progrès : elle comprend une grande caisse en bois, dont le fonds est formé par une planche mobile ; le tabac y est placé en couche épaisse, et serré au moyen d'une vis qui agit sur la planche supérieure de la caisse. En levant et en abaissant le couteau, on donne, par l'intermédiaire d'un levier, d'une dent à rochet et d'un arbre fileté, un mouvement régulier d'avance à la planche qui porte le tabac, et par suite au tabac lui-même. Cette machine est encore usitée partout où le hachage se fait à bras d'homme ; elle permet de faire varier à volonté la largeur de la coupe, et produit un effet utile très-satisfaisant ; mais elle a l'inconvénient d'être à chargement discontinu et d'user rapidement la planche mobile.

La Belgique expose un hachoir qui n'est qu'une variété de la machine hollandaise ; il est disposé de manière à aller à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la main ou par un moteur mécanique, à volonté, et porte un ressort qui, lorsque le couteau remonte, l'éloigne de l'embouchure et prévient tout frottement contre le tabac : une tige, menée par un excentrique, ramène le couteau au moment de la descente.

L'exposition française nous présente le modèle réduit d'un hachoir de gros, employé à la manufacture de Paris. Dans cette machine, six couteaux, montés en hélice sur un cylindre ou tambour horizontal, viennent passer rapidement au devant d'une embouchure rectangulaire, dans laquelle les feuilles de tabac, régulièrement superposées, sont poussées par deux cylindres cannelés, mus par la machine elle-même. Malgré sa construction simple et le nombre réduit de ses organes, cet appareil laisse un peu à désirer : la pression du tabac est constante pendant l'avance ; l'avance elle-même étant continue, le tabac presse contre la lame, et, s'il n'était disposé en couches minces, il y aurait arrachement des feuilles ; le mouvement des cylindres cannelés est dans un rapport fixe avec le mouvement du tambour, de sorte qu'on ne peut faire varier la coupe ; ce sont des inconvénients sérieux dans la pratique. Ce hachoir exige 1 cheval-vapeur 60 et produit de 800 à 900 kilogrammes par heure.

On a construit à Strasbourg un hachoir sur le principe du hache-paille employé dans l'agriculture. Deux couteaux, dont le tranchant est en spirale pour rencontrer le tabac toujours sous le même angle, sont fixés sur les bras d'un volant en fer ; un excentrique, calé sur l'arbre de ce volant, communique d'une part un mouvement d'ascension et de descente à un plateau qui, par l'intermédiaire d'un ressort, presse le tabac au moment de la coupe, d'autre part un mouvement alternatif à deux leviers qui, armés de pieds-de-biche, donnent, à l'aide de deux roues à rochet, le mouvement convenable aux cylindres alimenteurs. Sans entrer dans le détail de certains organes destinés à régulariser la tension de la toile sans fin qui amène le tabac, et à parer aux inégalités qui peuvent se

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rencontrer dans le chargement, nous ferons remarquer que dans ce hachoir : 1° l'avance n'ayant lieu que dans l'intervalle d'une coupe à l'autre, le tabac ne vient pas buter contre la lame ; 2° le plateau compresseur s'élève au moment de l'avance et ne s'abaisse qu'au moment de la coupe, ce qui évite tout frottement inutile ; 3° le chargement est continu ; 4° en modifiant la longueur des bras de leviers qui agissent sur les roues à rochets, on fait varier l'avance et, par suite, la largeur de la coupe. Malgré tous ces avantages, ce hachoir n'a pu se substituer au précédent : le couteau s'encrassait très-rapidement et il fallait à tout moment arrêter la machine pour le nettoyer.

Les États-Unis exposent une machine construite également sur le principe du hache-paille, mais inférieure à la précédente. La vitesse de rotation du volant, qui atteint 800 ou 1,000 tours par minute, occasionne un ébranlement considérable dans tout le système et exige que chaque organe soit solide et massif, ce qui rend la machine coûteuse et peu gracieuse. En changeant deux roues d'engrenage, opération assez prompte du reste, on fait varier la coupe à volonté. Son rendement paraît mauvais, puisque, de l'aveu de l'exposant lui-même, elle demande une force de quatre chevaux et ne produit, suivant la coupe, que de 75 à 300 kilogrammes à l'heure (1).

Les feuilles, au sortir du hachage de gros, subissent une première fermentation en masse, puis sont portées à l'atelier du râpage. Le râpage présente des difficultés spéciales : si on opère sur du tabac sec, on obtient une poussière impalpable qui ne convient pas aux consommateurs ; si l'on opère sur du tabac humide, on se trouve en présence d'une matière gommeuse, encrassante, difficile à déchirer ou à couper. Aussi, depuis l'époque où l'usage des carottes étant

(1) Cette machine, comme la précédente, du reste, sert plutôt pour le scaferlati que pour la poudre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

général, chaque priseur remplissait quotidiennement sa tabatière avec la rape à main, serait-il difficile de compter et de décrire tous les appareils construits dans le but de râper le tabac.

L'appareil à pilon a été longtemps employé ; un arbre horizontal en bois, muni de cames disposées en hélice, soulevait des tiges en bois glissant entre deux guides ; le bas de la tige était armé d'un couteau en croix qui venait frapper dans une auge en bois ; on tamisait à la main et on remettait sous le pilon ce qui était resté sur le tamis. Le grain ainsi obtenu avait des paillettes et n'était pas beau, le rendement était faible : un pilon donnait à peine 20 kilogrammes par jour. Les étrangers avaient encore des procédés inférieurs : leur tabac, le plus souvent à l'état sec, était pulvérisé sous des cônes de pierre que l'on faisait rouler dans une cuvette ; pour obtenir du tabac en poudre et non en poussière, on substituait quelquefois à ces cônes des roues munies de palettes dont l'extrémité était aiguisée comme la lame d'un couteau.

Plus tard, on eut recours aux moulins à bras. Ceux-ci, qui n'ont pas encore complétement disparu en France, se composent d'une cuvette conique en bois, armée d'une série de lames implantées dans la paroi. Dans l'intérieur se meut une noix en bois munie de lames identiques, qui frottent contre les premières ; cette noix, reliée par deux clavettes à un arbre vertical qui lui transmet le mouvement, repose, au moyen de deux renflements de l'arbre, dans une douille vissée au-dessus de la cuvette. L'ouvrier lui transmet, par une manivelle, un mouvement alternatif ; il monte ou descend l'arbre en faisant varier la hauteur de la douille, et obtient ainsi un grain plus ou moins gros ; le rendement atteint 20 à 25 kilogrammes par journée de dix heures.

Les moulins mécaniques, en usage aujourd'hui dans presque toutes nos manufactures, sont fondés sur le même principe que les moulins à bras. Ici la noix, consistant en cône en fonte évidé à l'intérieur, est revêtue d'une série de languettes en bois

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que maintiennent dans le bas un rebord en fonte, et dans le haut un cercle en fer ; sur toute la circonférence sont tracés des traits de scie inclinés sur l'axe, et dans chacun desquels on implante une lame en acier dont la saillie diminue depuis le haut jusqu'au bas ; un cercle de fer les réunit à la partie supérieure. Chaque cône porte 48 lames ; ses dimensions sont les suivantes : diamètre supérieur, 0^m35 ; diamètre inférieur, 0^m27.

La cuvette, boulonnée sur un bâtis, porte à son intérieur quatre pièces en bois également distancées, maintenues par des vis et dont l'épaisseur doit être égale à l'écartement de deux lames ; dans chaque intervalle, on chasse trois cônes en bois, maintenant un nombre égal de lames d'acier, et on obtient ainsi un tout solide.

L'écartement entre les lames de la noix et celles de la cuvette doit être variable, suivant le grain qu'on veut obtenir ; à cet effet, la crapaudine qui supporte l'arbre vertical était à l'origine portée par une vis, manœuvrée à la main et qui faisait varier la hauteur de la noix. A ce système défectueux, qui maintenait fixe l'écartement des lames et amenait leur rupture dès qu'un corps dur arrivait avec le tabac, on a substitué un levier dont un des bras, en forme de fourche, supporte la crapaudine et le pivot de l'arbre, et dont l'autre bras porte un contre-poids mobile qui, en se déplaçant, contre-balance plus ou moins le poids de la noix, de sorte que cette dernière, ainsi allégée, se soulève en présence d'un corps étranger, sans qu'il y ait rupture de lames, et donne un grain d'autant plus fin que l'on diminue davantage l'action du contre-poids.

Les moulins ne fonctionnent régulièrement que si la noix et la cuvette sont parfaitement centrées ; ce résultat, pour les noix, s'obtient par l'appareil suivant. Au-devant d'une meule tournant autour d'un arbre horizontal, se meuvent dans des glissières parallèles deux chariots qui portent chacun un coussinet sur lesquels on met l'arbre de la noix. En manœuvrant

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les chariots, on place cet arbre obliquement en lui faisant faire avec l'arbre de la meule un angle égal à celui du cône ; il suffit alors de présenter successivement chaque lame à la meule, pour obtenir une surface parfaitement conique. Lorsque l'on veut centrer la cuvette, on remplace la noix par un cône, qui permet de vérifier successivement si chaque lame de la cuvette est bien disposée.

Les lames s'usent rapidement, et leur saillie ne tarde pas à diminuer ; pour la conserver constante, on a soin de mettre entre chacune d'elles des languettes de bois que l'on retire à mesure que la lame s'use.

Le tabac, broyé et déchiré par les moulins, tombe dans une trémie, où une vis sans fin le prend et le transporte dans un réservoir ; une noria l'y saisit, le monte à l'étage supérieur et le rejette sur des tamis, mus par un excentrique ; là, une séparation s'opère entre le rapé, arrivé au degré de trituration voulu et qui est recueilli dans des sacs pour être porté aux cases de fermentation, et les parties trop grosses, qu'une seconde vis, marchant en sens inverse, ramène au-dessus d'ouvertures correspondantes aux moulins.

Le transport des sacs de rapé aux cases de rapé sec, la deuxième mouillade, la mise en case de rapé parfait s'effectuent à bras d'homme. Quelques manufactures emploient de petites grues roulantes, mobiles sur des rails. Au sortir des cases de rapé parfait, le tabac doit être fortement tassé pour arrêter toute fermentation ultérieure. Dans la plupart des manufactures, la mise en tonneau et le pilonnage se font à la main, car le pilonnage mécanique présente certaines difficultés, qui n'ont pas été vaincues dès le principe. A Paris, on avait d'abord voulu se servir de pilons soulevés par des cames ; ce système fut abandonné, parce qu'à mesure que le tonneau se remplissait, les cames tombaient de moins haut, et qu'ainsi les couches supérieures étaient moins tassées que les couches inférieures. On ne pouvait songer à la presse hydraulique : lorsque la pression est continue, la matière se met en voûte, et les pressions,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au lieu de se transmettre verticalement, se transmettent horizontalement. A l'Exposition figure un appareil qui donne d'excellents résultats. Le tonneau est porté sur une plaque de fonte animée d'un mouvement lent de rotation, tandis que la poudre, qui tombe d'une trémie fixe, se répand uniformément dans tout le tonneau ; le pilon, de forme allongée, au lieu d'être soulevé par une came jusqu'à une hauteur déterminée, est élevé d'une hauteur constante par deux excentriques enveloppés de cuir, tournant en sens contraire, et dont les surfaces, s'écartant du pilon ou venant le presser, saisissent et lâchent alternativement la tige. Le pilonnage se fait régulièrement jusqu'au moment où le tonneau est plein ; si l'on s'arrêtait à ce moment, on aurait à la surface une couche d'un décimètre à peine tassée ; car l'expérience a démontré que, dans le tabac, la pression se transmet à une distance de dix centimètres environ, sans compression des couches supérieures. Dans la pratique, on pose sur les parois du tonneau une hausse en tôle de 0m15, et on continue à pilonner, jusqu'au moment où la hausse est pleine. Le tabac contenu dans le tonneau étant alors complétement tassé, on retire la hausse, on recueille le trop plein du tabac dans une poche en toile et on le reverse dans le tonneau suivant.

Les tonneaux sont ensuite fermés et envoyés aux entreposeurs, qui sont chargés de distribuer le tabac aux débitants.

§ 2. — Scaferlati ou tabac à fumer.

Les premières opérations que subissent les feuilles destinées au scaferlati ou tabac à fumer, époulardage, écabochage, capsage ou écotage, mouillade, se font à la main (1). Pour le hachage, on se sert d'appareils analogues à ceux qui sont employés dans le hachage de gros. Avec la machine hollandaise, dont l'usage est encore assez répandu, il suffit de dimi-

(1) On commence pourtant, dans quelques manufactures, à exécuter la mouillade au moyen d'un mouilleur mécanique analogue au *sécheur*.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nuer le bras de levier qui mène le pied de biche, pour obtenir, à chaque coup de couteau, une avance moins grande et par suite une coupe plus fine. En France, on emploie d'une manière exclusive une machine qui, nous ne le dissimulerons pas, laisse à désirer sous plusieurs points de vue.

Le tabac, rangé par l'ouvrier dans une caisse placée à l'arrière, arrive, à l'aide d'une toile sans fin, dans un canal qui se rétrécit peu à peu, passe sous deux cylindres compresseurs et est divisé en tranches par un couteau à guillotine, qui reçoit un mouvement alternatif de l'arbre moteur par l'intermédiaire d'une bielle et d'un balancier. Pour rendre la pression constante, même en présence d'un excès de tabac, le cylindre supérieur, mobile dans une glissière verticale et recevant son mouvement du cylindre inférieur, est soumis à l'action d'un contre-poids placé à l'extrémité d'un levier. Un système compliqué de roues d'engrenage, tournant autour d'axes reliés par des articulateurs, était jadis employé pour remédier aux effets du déplacement du premier cylindre ; mais ces variations de distance restant dans des limites très-faibles, on se contente maintenant de donner un peu plus de longueur aux dents des deux engrenages conducteurs.

On se sert aussi, pour régler l'avance, d'un pied de biche qui mord sur une dent à rochet; un excentrique, calé sur le volant de la machine, donne au pied de biche un mouvement de va-et-vient. Dans les manufactures où l'on prépare plusieurs qualités de scaferlati, on obtient les diverses coupes propres à chaque qualité en calant sur l'arbre du volant des excentriques de différentes dimensions et changeant la roue à rochet. Cette machine produit un travail assez imparfait; elle donne souvent des fausses coupes; ce singulier phénomène, dont on n'a pas encore trouvé le remède, provient probablement de différentes causes, soit que le couteau s'oppose à l'avance, soit qu'il se produise des glissements dans le tabac, soit que ce dernier vienne buter contre l'embouchure. Si nous examinons cette machine au point de vue mécanique, nous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

verrons qu'elle est compliquée : l'arbre du volant doit être coudé, pour recevoir la bielle ; les dimensions nécessairement restreintes de la bielle et du balancier amènent aux articulations des frottements considérables ; le travail est brusque, discontinu ; la force dépensée dans la coupe est évidemment très-variable, suivant la quantité ou la nature du tabac et le degré d'aiguisage du couteau. Dans un hachoir bien entretenu, en repassant le couteau chaque demi-heure, l'expérience démontre que le travail nécessaire à l'avance du tabac est égal à celui qui est nécessaire à la coupe. Pour que le travail total fût également réparti, il faudrait, le travail dépensé par le couteau étant positif pendant l'avance et négatif pendant la coupe suivant qu'il s'élève ou qu'il s'abaisse, que le poids du couteau fût aussi faible que possible. Or, dans l'exécution, on donne au couteau et à son attirail un poids assez considérable pour avoir, lors de la descente, une force vive suffisante et éviter, au moment où la lame rencontre le tabac, des chocs funestes aux articulations du balancier et de l'arbre coudé. Malgré ses défauts que nous n'avons pas cherché à cacher, ce hachoir a été, dans la pratique, reconnu plus avantageux que tous ceux qu'on a voulu lui substituer. Un hachoir parfait est donc encore à trouver.

Les manufactures impériales d'Autriche, qui n'ont pas exposé leurs machines, emploient un hachoir qui donne des coupes très-fines et très-régulières, mais qui est encombrant et défectueux à quelques égards. L'embouchure supérieure est mobile et ne presse le tabac qu'au moment de la coupe. En avant est un disque sur lequel se trouve un bouton de manivelle, où l'on articule une des extrémités du couteau ; l'autre extrémité est liée à une bielle mobile autour d'un axe ; le couteau a, par suite, un mouvement de scie, qui contribue beaucoup à la netteté de la coupe ; il s'éloigne de l'embouchure pendant son mouvement rétrograde, pour éviter tout frottement pendant l'avance. Quant à l'avance, on l'obtient par un système analogue à celui de la machine hollandaise.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le tabac haché a besoin d'être torréfié ; au début, la torréfaction avait lieu sur des plaques de tôle, chauffées à feu nu ; à Paris, on considérait comme un progrès l'usage de grands cylindres chauffés par de la vapeur à haute pression ; l'un et l'autre procédé ne donnaient que des résultats grossiers, incertains ; ils étaient malsains au plus haut degré ; les ouvriers, à moitié nus, placés entre ces plaques brûlantes et un courant d'air froid, nécessaire à la ventilation, occupés des journées entières à brasser une matière qui dégageait des vapeurs chaudes de tabac, voyaient leur constitution s'user rapidement : l'invention du torréfacteur changea complétement cet état de choses. Ce n'est pas ici le lieu de nous étendre sur ces appareils nouveaux, mais déjà si connus et si appréciés. Le tabac, introduit d'une manière régulière, est remué uniformément au milieu d'un courant d'air à température constante, sans qu'aucune vapeur délétère pénètre dans l'atelier. Ainsi le problème de la torréfaction a reçu une solution complète et satisfaisante. Mais l'invention de M. Rolland est encore plus féconde qu'ingénieuse, et la facilité avec laquelle des changements de détail permettent de modifier les conditions de température, de temps, etc., a fait que le torréfacteur, loin d'être un appareil spécial à la fabrication du scaferlati, est susceptible des applications les plus variées et se voit appelé à rendre des services importants dans les industries les plus diverses. Déjà, dans nos manufactures de tabac, son principe a été appliqué à de nouvelles manipulations. Le scaferlati chaud et humide qui sort du torréfacteur, est étendu d'habitude sur des claies où on le laisse refroidir et perdre son excès d'humidité. Ce refroidissement est obtenu avec plus d'avantage dans un appareil, dont on a exposé le modèle réduit : c'est un *sécheur* traversé par un courant d'air froid, qu'un ventilateur refoule dans une haute cheminée ; les poussières, les vapeurs du tabac chaud sont entraînées hors de l'atelier ; les déchets sont moins considérables ; l'emplacement réclamé par l'appareil est très-inférieur à celui qu'occupaient le grand

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nombre de claies nécessaires pour étaler tout le scaferlati.

On a également, depuis quelques années, établi sur le même plan une mouillade mécanique : les feuilles, traversant le cylindre, reçoivent une pluie fine qui les mouille sur toutes leurs faces, tandis que, d'après l'ancienne méthode, l'eau salée versée avec des arrosoirs sur les feuilles mises en tas, se répand inégalement dans l'intérieur, humecte trop certaines parties et n'atteint pas les autres.

Le scaferlati est mis en masses qui ne contiennent pas moins de 10 à 12,000 kilogrammes ; il reste ainsi pendant un mois ; durant ce temps, l'humidité devient uniforme, et il se produit une faible fermentation qui développe un léger arome dans le tabac et augmente sa combustibilité.

La dernière opération est le paquetage ; ce n'est que depuis quelques années qu'on a songé à substituer, dans le paquetage, l'action de la machine à la main de l'homme. Autrefois le scaferlati, arrivé dans la salle du paquetage, était reçu par un ouvrier, qui le pesait dans le plateau mobile d'une balance, le fractionnait par quantités de 100, 200 ou 500 grammes et passait le plateau et son contenu à un ouvrier voisin. Celui-ci avait un entonnoir quadrangulaire en zinc, muni à sa partie inférieure d'une forme ; il appliquait sur cette forme le papier de l'enveloppe, formait en le repliant le fonds du sac et introduisait le tout dans un creux ménagé dans la table qui était devant lui ; il versait le scaferlati du plateau de la balance dans l'entonnoir, et le tassait avec un pilon en bois. Il retirait l'entonnoir ; la forme glissait entre le tabac comprimé et l'enveloppe, et il ne restait plus qu'à fermer le dessus du paquet. Un enfant, placé auprès, recevait les paquets et collait la vignette de la régie. Ces diverses manipulations se faisaient avec une surprenante rapidité, mais elles étaient fatigantes ; la pression à laquelle le tabac était soumis était trop faible ; les paquets étaient de volume inégal, et souvent le tabac fermentait dans les tonneaux.

La direction générale des manufactures de l'État a exposé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

deux machines, destinées à exécuter mécaniquement tout ou partie de ces travaux. La première est due à M. Goupil; il nous est impossible, sans le secours du dessin, de décrire cette machine ingénieuse, mais compliquée, qui reçoit, d'une part, le tabac, de l'autre, le papier et les vignettes, et rend le paquet fait, fermé et revêtu de sa vignette. Elle comprend douze appareils identiques, rangés circulairement autour d'un axe vertical; le plateau qui les supporte est mobile autour de cet axe; les différents organes de chaque appareil paqueteur, commandés par des cames armées de roulettes à leurs extrémités, exécutent mécaniquement les opérations que faisait l'ouvrier; lorsque le plateau tourne, les cames viennent rencontrer des galets fixes, qui les soulèvent et communiquent, au moment voulu, le mouvement convenable à chaque organe. En tournant autour de la machine avec l'un des appareils paqueteurs, on voit se faire successivement tout le travail, depuis l'endroit où l'ouvrier place l'enveloppe et le tabac, jusqu'au moment où il retire le paquet terminé. Si, au contraire, on reste immobile, on voit un galet fixe commander successivement aux cames des douze appareils le même mouvement, et la même fraction du paquetage s'exécuter indéfiniment sous vos yeux.

Cette machine, après les perfectionnements que son auteur n'a cessé d'y introduire, marche régulièrement et fait un bon travail; mais elle ne peut fonctionner d'une manière permanente que dans les grandes manufactures, telles que celles du Gros-Caillou ou de Strasbourg; ce qui surtout limitera son emploi, c'est qu'elle fait des paquets d'un poids déterminé; or, elle est trop coûteuse pour qu'il y ait avantage à avoir dans chaque manufacture une série de machines, correspondantes aux diverses grosseurs de paquets.

M. Mérisot, l'auteur du second appareil, ne prétend pas supprimer complétement la main de l'ouvrier; il se contente de lui venir en aide, de rendre inutile tout effort pénible, ce qui permet de confier aux femmes l'opération du paquetage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'ouvrière prend l'entonnoir, forme le fond du paquet, le place dans une forme creuse et verse le tabac. En ouvrant un robinet de forme particulière, elle introduit dans un cylindre de l'eau à haute pression (sept à huit atmosphères) laquelle, agissant sur un piston dont la tige porte la forme, soulève celle-ci et vient l'appliquer contre un bloc en bois placé au-dessus; lorsque le tabac a été suffisamment comprimé, le robinet tourne automatiquement, en fermant le canal d'admission de l'eau et ouvrant un canal de décharge; tout le système redescend sous l'action de son propre poids, à l'exception de l'entonnoir qui, saisi par deux griffes, se dégage de l'enveloppe et reste suspendu en l'air; l'ouvrière achève le paquet, l'enlève et recommence une nouvelle opération; l'appareil a exécuté pour elle les deux mouvements les plus pénibles, la compression du tabac, l'enlèvement de l'entonnoir. D'une construction simple, économique, solide, cette machine peut être employée dans la manufacture la moins importante, d'autant mieux que le changement de deux pièces ajustées avec des boulons permet de faire à volonté les paquets de divers modules.

Pour terminer ce que nous avons à dire sur le scaferlati, nous n'avons plus qu'à citer le laminoir de côtes. Le tabac dit de cantine contient une certaine quantité de côtes de tabac. Dans leur état naturel, celles-ci sont trop épaisses pour être d'une combustion facile; on parvient à leur donner cette propriété, en les soumettant à un laminage qui les amincit. La côte présente alors une large surface à l'air et se brûle presque aussi facilement que le restant de la feuille. La machine destinée au laminage comprend une trémie, dans laquelle on met les côtes après les avoir mouillées pour leur donner de la souplesse, et deux cylindres juxtaposés et animés chacun d'un mouvement de rotation en sens inverse, qui, saisissant une extrémité de la côte, l'entraînent dans leur mouvement et la réduisent à une épaisseur qui ne dépasse pas une fraction de millimètre; on modifie à volonté l'écartement des cylin-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dres, en faisant glisser l'un sur l'autre deux plans inclinés, auxquels se rattachent à chaque extrémité les axes des cylindres. Cette machine, qui n'exige pas plus d'un cheval et demi de force, lamine facilement 120 kilogrammes de côtes par heure.

§ 3. — Rôles.

Les rôles destinés à être hachés se divisent en gros rôles et menus filés. La fabrication de ces derniers n'exige d'autre instrument que la bobine autour de laquelle on les enroule. Pendant que cette dernière tourne, l'ouvrière dispose ses feuilles au bout l'une de l'autre et produit une sorte de cordelette en tabac de trois à cinq millimètres de diamètre. Les gros rôles se font sur une table, à l'extrémité de laquelle est adapté un rouet mobile autour d'un axe; cet axe est lui-même mobile autour d'un arbre qui lui est perpendiculaire. Un enfant prépare le boudin d'intérieur; un homme dispose les rôles et enveloppe le boudin, qu'un second enfant, en faisant tourner l'arbre, tord et roule en forme de corde; de temps en temps, l'enfant arrête l'arbre et enroule le rôle sur le rouet. M. Dargnies a trouvé un ingénieux perfectionnement, qui permet d'enrouler d'une manière continue. Supposons qu'une poulie, fixée sur l'axe du rouet, soit, par l'intermédiaire d'une courroie, reliée à une poulie folle placée sur l'arbre. Cet arbre tournant, les diverses parties du système participent toutes à cette rotation, sans se déplacer les unes par rapport aux autres. Mais, si, à l'aide d'un embrayage, nous rendons immobile la poulie folle placée sur l'arbre, elle aura, par rapport au système, un mouvement de rotation inverse et égal à celui de l'arbre, et communiquera son mouvement à la poulie du rouet; il y aura enroulement. C'est cet embrayage que le fileur produit, en appuyant sur une pédale placée sous son pied; en le rendant plus ou moins complet, il arrive à enrouler le rôle à mesure qu'il est fabriqué, sans interrompre son travail et sans se déplacer.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'opération suivante, le rôlage, consiste à mettre les rôles en pelotons d'un poids déterminé ; ces pelotons sont portés à la presse hydraulique, qui fait sortir une grande quantité de jus ; le rôle, débarrassé d'une partie des matières solubles qu'il contenait, devient beaucoup plus doux. Il est porté ensuite au séchoir, pour y perdre son excès d'humidité, et de là est livré aux entrepôts.

§ 4. — Cigares et Cigarettes.

Les cigares se font généralement à la main; cependant, depuis quelques années, on a fait des essais pour exécuter mécaniquement certaines parties de la fabrication.

Les robes, destinées à servir d'enveloppe extérieure aux cigares, sont faites avec des feuilles de premier choix, de belles dimensions, qu'une femme étale soigneusement les unes sur les autres; le paquet, porté sous le plateau d'une presse à vis, est soumis pendant vingt-quatre heures à une forte pression. La manufacture de Reuilly emploie maintenant un petit appareil qui, saisissant la feuille que présente une ouvrière, l'enroule autour d'un cylindre en bois; lorsque le cylindre est assez chargé de feuilles, l'ouvrière l'enlève et lui en substitue un autre. Cet appareil fonctionne d'une manière très-satisfaisante.

Dans la même manufacture, on continue à se servir de moules, dont les rainures, quand on les approche deux à deux, laissent un vide égal au volume du cigare; l'ouvrière, après avoir préparé l'intérieur et mis la première enveloppe, y place le cigare et fixe les deux moules par une bande de fer-blanc; ce n'est que le lendemain qu'elle défait le moule et roule la dernière enveloppe ou robe. Ce procédé donne des cigares très-réguliers de forme, mais il exige des ouvrières très-habiles; car si l'intérieur est mal disposé, le tabac est trop comprimé par endroit, et le cigare est dur à fumer.

En Allemagne, on construit une machine, dans laquelle les feuilles pour intérieur, rangées régulièrement par l'ouvrier,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont découpées par bandes et déposées dans les rainures d'une planche : chaque rainure contient l'intérieur d'un cigare; une femme prend cet intérieur, le place, avec l'enveloppe, dans le repli d'une toile fixée à ses deux bouts et roule vivement l'enveloppe, à l'aide d'une tige engagée dans un autre repli de la toile et qui peut se mouvoir d'une extrémité à l'autre de cette toile. Cette dernière partie de l'appareil a été seule conservée dans les manufactures françaises, car, après de nombreux essais, on a trouvé plus avantageux de disposer l'intérieur du cigare à la main.

Il faut reconnaître que, jusqu'à ce jour, les cigares fabriqués à la main, quoiqu'ayant parfois un aspect moins régulier que ceux qui ont été obtenus par des moyens mécaniques, leur sont de beaucoup supérieurs, et les fumeurs doivent s'estimer heureux que, jusqu'ici, les procédés mécaniques n'aient pas apporté une économie assez notable pour engager les fabricants à les adopter.

Les cigarettes sont presque toutes faites par le fumeur lui-même, et les fabricants de tabac n'en livrent que des quantités relativement restreintes; l'esprit de recherche des inventeurs s'est pourtant tourné de ce côté, et, à l'Exposition, nous voyons une machine destinée à préparer des cigarettes. Elle est compliquée, et nous ignorons si elle est plus économique que la main de l'homme; elle a d'ailleurs un grave défaut, celui d'employer du tabac presque pulvérisé; elle ne donnera donc jamais que des produits peu estimés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION V

MATÉRIEL ET OUTILLAGE MÉCANIQUE DE LA TANNERIE ET DE LA MÉGISSERIE

PAR M. A. PERRAULT.

La préparation des cuirs et peaux est des plus anciennes ; aussi la routine a-t-elle longtemps régné dans cette industrie. Le matériel et l'outillage en ont ressenti l'influence pernicieuse, et sont restés stationnaires même pour les outils à main. Aujourd'hui encore les préjugés n'ont pas complétement disparu chez un certain nombre de tanneurs. Quant à l'outillage mécanique, ce n'est guère que depuis une vingtaine d'années, que les premiers essais ont été tentés dans cette voie. Le nombre des machines ayant donné de bons résultats pratiques est encore assez restreint, et l'Exposition universelle de 1867 est venue ajouter un certain nombre d'outils nouveaux à ceux que l'on connaissait déjà, au moins en principe.

Cependant la France n'est pas restée stationnaire et c'est dans l'exposition de ce pays qu'on trouve le plus grand nombre de machines destinées à cette industrie, soit pour le travail même des cuirs, soit pour des travaux accessoires qui s'exécutent dans les tanneries. Hors de la France, nous ne trouvons guère que l'Angleterre qui offre des machines ou des outils mécaniques rentrant dans cette catégorie. Les autres nations ne nous présentent que des outils à main pour les ou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

vriers tanneurs, corroyeurs et mégissiers, et aucune n'a exposé de machines propres à ces industries.

Sans vouloir entrer dans les détails de la fabrication et des divers procédés proposés jusqu'à ce jour, nous pouvons reconnaître une tendance heureuse dans l'abandon des procédés de tannage rapide, tant vantés par leurs inventeurs, et dont les résultats, si peu en harmonie avec les promesses, sont venus démontrer l'inefficacité. Aujourd'hui la tannerie sait mieux ce qu'elle fait ; elle est mieux inspirée, quand elle cherche dans l'emploi d'outils mécaniques le moyen, soit de diminuer les anciennes façons reconnues inutiles, soit d'abréger le travail et de réduire le temps de chaque opération au strict nécessaire, mais sans vouloir abréger au delà de ce qui est juste et convenable. Elle aime mieux grever d'un plus fort intérêt les marchandises de sa fabrication, et obtenir des résultats plus certains.

L'industrie des cuirs a longtemps hésité devant l'emploi des machines-outils ; aujourd'hui, on peut dire que l'élan est donné et que chaque fabricant, soucieux de mettre son matériel au niveau des progrès, accomplis est à même de choisir les outils mécaniques qui lui semblent le mieux remplir le but cherché. Ce qui le prouve, c'est l'empressement avec lequel ont été achetées toutes les machines spéciales exposées dans le pavillon de la section française. Jetons un coup d'œil rapide sur les machines nouvelles que nous trouvons réunies au Champ-de-Mars, en étudiant d'abord celles qui sont destinées à la tannerie, puis celles qu'on utilise dans la corroirie, la mégisserie, etc.

§ 1. — Machines à écharner, à ébourrer, etc.

Aux tonneaux à fouler et à vider de chaux, qui ont figuré à l'Exposition, et qui sont peut-être les premiers outils mécaniques employés dans notre industrie, sont venues se joindre, dans ces dernières années, les machines à écharner, à ébourrer, à queurser, et, plus anciennement, les machines à refendre les cuirs

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dont de récents perfectionnements ont fait une véritable machine nouvelle. La machine à écharner et à ébourrer de M. Ott, de Saint-Denis (Seine), est une machine multiple dans son emploi ; elle travaille spécialement la petite peau. Construite d'abord pour remplacer le travail de rivière dans la mégisserie des peaux à gants (chevreaux et agneaux), elle a été successivement employée à l'ébourrage et à l'écharnage des peaux de mouton destinées à être maroquinées ; puis, à la mise au vent de ces mêmes peaux tannées, après leur passage dans le bain de sumac. Le simple changement du cylindre travailleur suffit pour obtenir ces diverses opérations. Une table mobile, dont on règle la hauteur par rapport au cylindre, entraîne la peau dans son mouvement de translation au-dessous du cylindre ; celui-ci est garni de deux séries de lames, disposées en hélice à sa circonférence, mais partant de la moitié de la hauteur de ce cylindre pour venir aux extrémités. Par ce moyen la peau est rejetée de chaque côté, et s'étend complétement : on évite ainsi les plis, et, par conséquent, les déchirures. La pression fait écouler l'eau et la chaux dont sont imprégnées les peaux soumises à l'action de ces machines. On remplace les cylindres garnis de couteaux d'acier, qui servent à l'ébourrage et à l'écharnage, par d'autres en ardoise pour les façons de chair, ou bien, lorsqu'on veut mettre au vent des cuirs tannés, par des cylindres en cuivre, garnis d'hélices doubles du même métal. La galvanoplastie permettrait de produire à meilleur compte ces cylindres à hélices si, déjà, le cuivrage galvanique ne leur a pas été appliqué.

Ces machines, dont l'usage se généralise rapidement dans la mégisserie, sont d'un emploi si facile que des enfants peuvent les conduire, après quelques jours d'apprentissage. Le même principe a été appliqué à la construction de machines analogues, disposées pour les grands cuirs, et ne différant guère des précédentes que par leurs dimensions.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 2. — Machines à refendre. — Scies.

Les cuirs tannés de bœuf ont une épaisseur considérable; lorsque, pour leur emploi, ils doivent être amincis, on peut y arriver par le dérayage à la main; mais alors on perd toute l'épaisseur ôtée au cuir primitif, cette épaisseur surabondante étant enlevée par couches et en morceaux, sous forme de *bourriers*. La scie ou la machine à refendre permet, au contraire, d'enlever, d'une seule fois et en un seul morceau, toute l'épaisseur excédante, et ce cuir ainsi enlevé, qu'on nomme *croûte*, a encore une certaine valeur, pour des emplois déterminés.

On a commencé par se servir, pour ce travail, d'une scie de forme circulaire qui refendait le cuir par bandes successives; aujourd'hui on opère sur le cuir dans toute sa largeur, au moyen d'un couteau rectiligne, d'une longueur supérieure à la plus grande largeur de la peau. Le couteau, animé d'un mouvement alternatif rapide, coupe le cuir, en commençant l'opération par la culée, pour la terminer à la tête, et ces machines sont aujourd'hui construites avec une telle précision, qu'on peut refendre les cuirs en trois épaisseurs, comme on en voit plusieurs exemples dans la classe 46, à l'exposition des cuirs français. On ne s'est pas contenté de scier ainsi les cuirs tannés; on a voulu, et c'est ce qui se pratique le plus ordinairement aujourd'hui, refendre les cuirs après le travail de rivière, avant le tannage. On profite ainsi des surfaces nouvelles pour obtenir un tannage plus rapide. C'est ce qu'on appelle scier ou refendre les *cuirs en tripes*.

§ 3. — Marteaux à battre les cuirs. — Machines à cylindrer.

Si les cuirs destinés à la sellerie et aux empeignes de chaussure doivent acquérir une certaine souplesse, il en est d'autres, au contraire, pour lesquels il faut la plus grande rigidité et la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus grande compacité possibles; ce sont les cuirs à semelles, ou cuirs forts. On a remplacé le battage à la main par les marteaux à battre les cuirs et les machines à cylindrer. En France, on emploie presque généralement la percussion par le marteau, tandis qu'en Angleterre c'est plutôt la compression par les cylindres; cette préférence s'explique par la différence des procédés de tannage suivis dans les deux pays. La construction de tous ces appareils est des plus simples, au point de vue mécanique. Les marteaux, dont la tête est en bronze, sont mis en mouvement par un levier très-long; ils frappent sur une enclume en bronze placée au milieu d'une table, sur laquelle on fait glisser le cuir de manière à présenter successivement toutes ses parties à l'action du marteau. Un pareil outil peut battre 60 côtés de cuirs, par journée de dix heures de travail.

Quant aux appareils anglais, ils se composent d'un cylindre en bronze, sur l'axe duquel porte une grande caisse qu'on garnit de poids. Les uns sont montés directement sur la tige d'un piston mû par la vapeur (Stolbert et Pitt) ; les autres sont animés d'un mouvement de va-et-vient, au moyen de deux poulies, dont l'une est embrayée quand le débrayage de la première a lieu. Dans ce système, dû à M. Tyler, on a l'avantage de pouvoir régler l'écartement du cylindre et de la table au moyen d'une vis de pression située à la partie supérieure du système.

§ 4. — Machines à margueriter.

Nous venons de voir que les cuirs à semelles devaient être martelés ou cylindrés, pour acquérir plus de compacité, tandis que les cuirs à harnais, travaillés par le corroyeur, ont besoin d'une flexibilité qu'il faut pouvoir leur donner. Pour assouplir les cuirs en croûte, on les mouille et on les passe à la marguerite, instrument en bois pesant, que l'ouvrier était obligé de promener sur tout le cuir plié en deux, en le ramenant à lui. Ce travail, le plus fatigant de toute la corroirie, est aujourd'hui heureusement remplacé par la mar-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

guerite mécanique. Nous en trouvons trois systèmes à l'Exposition et c'est encore dans la partie française qu'ils se rencontrent. Ils sont dus, le premier à M. Placide Peltereau, de Châteaurenault, l'un de nos plus habiles fabricants de cuirs, représenté par M. Allard Ferré, constructeur, cessionnaire des brevets; l'autre à M. Dezaux-Lacour, également tanneur et corroyeur, à Guise, et le troisième (système Fleury) à M. Berendorf, constructeur mécanicien, à Paris, qui s'occupe plus particulièrement des machines spéciales à la tannerie.

Dans ces trois systèmes, l'outil n'est autre que l'ancienne marguerite, que le corroyeur faisait manœuvrer à tour de bras; seulement le mouvement lui est communiqué par des organes mécaniques qui imitent tout à fait la manière d'agir de l'ouvrier. La peau à rebrousser ou à crépir est conduite par l'ouvrier sous la marguerite, pendant qu'elle avance et qu'elle est soulevée par des excentriques montés sur l'arbre de transmission. Dans le système de M. Dezaux-Lacour, au lieu d'être animée d'un double mouvement combiné d'oscillation et de translation, comme dans le travail manuel, la marguerite tourne sur un axe d'une manière continue, et agit sur le cuir à peu près pendant le tiers de la circonférence qu'elle décrit. Ces machines travaillent très-bien les peaux entières, les croupons et même les vaches à capote les plus minces. Quoi qu'il en soit de ces trois systèmes de marguerites qui ne présentent, à proprement parler, de différence que dans le mode de transmission du mouvement, elles font toutes un travail si satisfaisant que, non-seulement les trois machines exposées ont été achetées immédiatement, mais que beaucoup d'autres industriels se sont empressés d'en commander de semblables.

§ 5. — Moulins à tan.

Jusqu'ici nous avons vu les machines servant à travailler le cuir, avant ou après le tannage, mais pour tanner, il faut du tan, c'est-à-dire de l'écorce de chêne réduite en poudre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les fabriques situées dans la campagne, les moulins à tan qui en dépendent sont presque toujours mus par une chute d'eau; dans les villes, où la force hydraulique manque généralement et où la place fait défaut, il faut remplacer ces moulins à pilons par d'autres appareils qui remplissent le même objet, sans toutefois occuper une place considérable.

Nous trouvons à l'Exposition un grand nombre de ces machines, qui nous montrent toute l'attention que les tanneurs portent à cette question. Il est important, en effet, de ne pas employer le tan trop longtemps après qu'il a été moulu, afin de ne rien perdre de ses qualités; d'un autre côté, en faisant son tan lui-même, le fabricant sait ce qu'il emploie et évite les fraudes qui pourraient se produire par des mélanges d'écorces. Pour moudre l'écorce, plusieurs constructeurs se servent de deux machines distinctes: un hachoir, qui broie l'écorce et un moulin à cloche. Dans le hachoir, du système Farcot, par exemple, l'écorce est coupée par des lames en hélice, formant couteaux, disposées sur un tambour tournant. On obtient ainsi des fragments d'écorce de 2 à 6 centimètres de longueur qu'on peut utiliser, sous le nom d'écorçons, dans la préparation des jus, ou qu'on peut transformer en tan au moyen du moulin à cloche.

M. Tyler réunit en un seul les deux appareils, le hachoir et le moulin à cloche, en plaçant le hachoir au bord supérieur du boisseau du moulin. Le couteau est alors animé d'un mouvement vertical et coupe l'écorce qui est amenée, comme dans les hachoirs circulaires, par deux cylindres cannelés. Dans cet appareil, on trouve un perfectionnement qu'il serait bon, je crois, de voir appliquer à tous les moulins à cloche ; voici en quoi il consiste. Le boisseau et la noix de ces moulins sont en fonte et garnis de nervures disposées, d'une certaine façon, pour former couteaux. Par le travail, ces couteaux s'usent et il faut les retailler, ce qui entraîne un chômage; puis, au bout d'un certain nombre de réparations, l'appareil doit être mis au rebut. M. Tyler fabrique des couteaux en acier fondu, qui

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

entrent dans des rainures venues à la fonte, aussi bien sur la noix que dans le boisseau. Un assemblage à queue d'aronde maintient très-solidement ces couteaux dans leur position fixe. Pour les réparations, il suffit d'enlever ceux qui sont hors de service, et de les remplacer par d'autres, ce qui peut se faire dans un temps très-court et sans détérioration pour la partie principale du moulin.

MM. Huxham et Brown réunissent également les deux appareils ; l'écorce est broyée par des cylindres à grosses dents venues de fonte, d'où elle tombe dans un moulin assez semblable aux moulins à cloche ordinaires, mais plus aplati, de sorte que le broyage s'y fait horizontalement. D'autres fabricants, M. Fontsauvage, tanneur, et M. Damourette, constructeur, remplacent le hachoir et le moulin par un seul appareil qui ressemble, au premier abord, au hachoir, mais qui en diffère parce que les lames de couteau transversales sont remplacées par des lames de scie fixées obliquement sur la circonférence du tambour. Ces machines produisent le tan directement en une seule opération, et n'exigent qu'une force relativement faible.

§ 6. — Machines à doler.

Si maintenant nous quittons le domaine de la tannerie pour entrer dans celui de la mégisserie, nous trouvons à l'Exposition, et dans la section française, trois machines à doler qui sortent à peine de la période d'essais, mais dont l'une d'elles semble avoir conquis la sympathie des fabricants. Elle est disposée, du reste, d'une manière très-simple, et mérite d'être signalée au point de vue de la santé des ouvriers. M. Bérendorf, s'il n'en est l'inventeur, en est le constructeur.

Elle se compose d'une meule en bois émerisée, tournant avec une grande vitesse, qui use la peau soumise à son contact. Un ventilateur, mis en mouvement par la même transmission

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

que la meule, se trouve placé au-devant de celle-ci, et absorbe toutes les poussières et les résidus qui, s'échappant de la peau, gêneraient la respiration de l'ouvrier qui conduit la machine. L'application de ce ventilateur absorbant me paraît une idée très-heureuse, qu'il serait bon de voir appliquer à beaucoup d'autres appareils, dans diverses branches de l'industrie.

Quant aux deux autres systèmes, ils consistent, le premier en une meule en pierre ponce, tournant horizontalement, sous laquelle on amène la peau placée sur un coussinet réglé par une pédale ; le second, en un couteau circulaire tournant rapidement, devant lequel on amène la peau au moyen d'un coussinet réglé de hauteur. Ces deux dernières machines me semblent avoir besoin encore de perfectionnements pour arriver à des résultats satisfaisants. En tout cas, elles témoignent de l'esprit de recherche et de la tendance, aujourd'hui bien marquée, pour l'emploi des outils mécaniques.

§ 7. — Presse à sécher la tannée.

Une machine nouvelle, la presse à tannée de M. Bréval, a, du premier coup, atteint victorieusement le but cherché. Tout le monde sait l'énorme quantité de tan qui se consomme dans les tanneries ; on sait aussi, que le tan épuisé ou *tannée*, est employé à confectionner des mottes à brûler, mais sans que cette consommation puisse arriver à débarrasser les tanneurs de leur excédant de tannée. On a pensé à employer cette matière comme combustible pour produire la vapeur nécessaire aux machines motrices ; mais, comme la tannée sortant des fosses est imprégnée d'une quantité d'eau considérable, il fallait la faire sécher. Le moyen employé jusqu'à ce jour était l'étendage sur une grande surface, à l'air libre et au soleil ; en été on faisait des provisions de tannée séchée pour l'hiver. C'était là un moyen primitif, nécessitant de vastes terrains, peu économique et souvent compromis. M. Breval a pensé qu'il était possible de sécher suffisamment la tannée et, de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus, de recueillir les jus de tanin qu'elle contenait encore. Il construisit alors sa presse cylindrique, dans laquelle la tannée jetée dans une trémie, au sortir des fosses, passe sous les cylindres, d'où elle sort aussi sèche qu'il est possible de l'obtenir à l'air libre. On peut alors la jeter dans des fourneaux disposés convenablement, où elle brûle parfaitement, sans avoir besoin d'y mélanger aucun autre combustible. On sèche ainsi 16 mètres cubes de tannée pendant dix heures de travail. Le jus de tan s'écoule d'un autre côté, et peut, après un dépôt préalable, être reversé dans la circulation de la fabrique. On extrait ainsi environ 60 pour 100 de jus en moyenne. Cette machine, bien qu'elle ne soit, à proprement parler, qu'un accessoire pour la fabrication, n'en est pas moins un véritable progrès apporté à l'industrie de la tannerie. Elle rend libres les vastes terrains nécessaires au séchage de la tannée, et permet aux industriels, non-seulement de ne pas faire de dépenses de chauffage, mais encore de pouvoir trouver le placement de l'excès de tannée dans les fabriques voisines, en les alimentant d'un combustible, de médiocre qualité il est vrai, mais aussi d'un prix très-bas. C'est donc un véritable service rendu à l'industrie, dont on doit féliciter l'inventeur.

§ 8. — Conclusion.

Nous terminerons cette partie du rapport, en faisant remarquer que, sauf l'Angleterre qui est représentée à l'Exposition de 1867 par des moulins à tan et un système de tannage à la flotte, les autres puissances ne présentent rien qui puisse être comparé, dans l'industrie des cuirs, avec les nombreux outils mécaniques qu'ont exposés les tanneurs et constructeurs français. La raison se trouve dans ce fait, bien évident aujourd'hui, que la tannerie française est supérieure à celle des autres nations, et que partout on cherche à s'approprier ses procédés. Les fabricants étrangers sont donc nos tributaires sous

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ce rapport, et c'est chez nous qu'ils viennent chercher leur outillage mécanique.

L'industrie des cuirs possède donc aujourd'hui un grand nombre de machines-outils spéciales qui, si elles n'ont pas toutes donné des résultats complets, font au moins espérer que le but sera atteint dans un temps rapproché de nous. Celles, il faut le dire, qui ont donné le plus de satisfaction, sont les machines dans lesquelles on s'est rapproché le plus possible du travail exécuté par la main de l'ouvrier. C'est donc dans cette voie que se trouve l'avenir de l'outillage mécanique de la tannerie. Je sais, d'ailleurs, que plusieurs essais pour remplacer, par des machines, divers travaux spéciaux, ont été tentés, et si leurs auteurs trop modestes, ou pas assez sûrs du résultat, n'ont pas osé affronter l'épreuve de l'Exposition universelle, qu'il me soit permis de leur témoigner toutes les sympathies de notre industrie reconnaissante, qui désire vivement leur réussite et les engage à persévérer dans leurs efforts.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VI

PRODUITS RÉFRACTAIRES

PAR M. CHANDELON.

CHAPITRE I.

QUESTIONS GÉNÉRALES.

Objets de première nécessité pour les usines métallurgiques, les verreries, les porcelaineries, en un mot, pour tous les établissements dont les travaux s'exécutent à une température très-élevée, les produits réfractaires occuperont toujours une place importante dans les expositions industrielles. Ils se fabriquent sur une grande échelle et sous les formes les plus variées, soit pour être employés, comme matériaux, à la construction des fours qui doivent résister à l'action d'un feu vif et de longue durée, soit pour servir, comme ustensiles, à contenir les substances qu'on veut mettre en fusion.

La consommation de ces produits est si considérable que c'est, en grande partie, de leur bonté et de leur résistance que dépend la prospérité d'un établissement. Aussi beaucoup d'industriels fabriquent eux-mêmes les objets réfractaires dont ils ont besoin, ne voulant s'en rapporter qu'à leur propre vigilance, des soins qu'en réclame la confection. On ne peut nier qu'un tel système, fondé sur des appréhensions légitimes sans doute, ne soit de nature à enrayer les progrès de cette

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

fabrication, car elle avancerait rapidement, si elle devenait l'objet de grands établissements distincts, dirigés par des hommes spéciaux, qui soumettraient à une étude approfondie les matières réfractaires à employer et leurs produits et qui rechercheraient les meilleures compositions de pâtes, les procédés les plus économiques, et éclaireraient, en un mot, des lumières de la science, l'exploitation si importante de cette branche de la céramique.

On requiert, des produits réfractaires, des qualités spéciales suivant les différents usages auxquels on les destine. Les uns, tels que les briques, les carreaux, les dalles, etc., servant à la construction des fourneaux ou fours, ou du moins à leur revêtement intérieur, doivent pouvoir supporter, sans se ramollir, l'action d'un feu violent et longtemps soutenu. Il en est de même des ustensiles qu'on chauffe progressivement jusqu'à la température à laquelle il faut les maintenir. D'autres, comme les creusets à fondre l'acier, doivent avoir en outre la propriété de résister à de brusques changements de chaleur, et de pouvoir également sortir des fours chauffés au rouge blanc et y rentrer, sans se briser ni même se fêler. Enfin il en est, tels que les creusets de verrerie, qui, autant que possible, doivent être inattaquables par les matières vitrifiables en fusion.

L'infusibilité des produits réfractaires est due essentiellement à la nature des matériaux dont ils sont formés, tandis que leur résistance aux changements de température et à l'action corrosive des fondants dépend surtout de la texture de leur pâte et de la manière dont ils sont façonnés. Il est reconnu en effet et admis dans la pratique qu'ils résistent d'autant mieux aux brusques variations de la chaleur qu'ils sont plus poreux, et qu'ils sont d'autant moins corrodés que leur pâte est plus dense et plus compacte.

Si le potier peut produire à volonté toutes sortes de textures, depuis le grain le plus serré jusqu'à la pâte la plus lâche, et donner ainsi à ses produits la propriété de passer brusque-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment d'une température à une autre, ou de résister aux fondants, ce n'est souvent qu'à la suite de nombreux tâtonnements qu'il parvient à obtenir des pâtes complétement infusibles. La difficulté provient surtout de la grande variété de compositions que présentent les argiles et qui est le résultat de leur origine et de leur mode de formation. On sait en effet que les argiles proviennent de l'altération des feldspaths, ou plutôt des roches primitives qui ont ces minéraux pour base ou pour partie dominante, et dont les détritus, entraînés par les eaux dans les cavités du sol, ont produit ces dépôts plus ou moins puissants qu'on rencontre dans presque tous les terrains stratifiés.

La variété des roches susceptibles d'éprouver l'altération qui les amène à l'état d'argile, la désagrégation plus ou moins complète dans laquelle elles se trouvaient au moment du transport, les nombreuses substances accidentelles que les eaux ont charriées en même temps et qui s'y sont mélangées, enfin la manière dont s'est fait le dépôt des matériaux tenus en suspension, expliquent, non-seulement l'extrême variété de compositions et de qualités qu'on observe dans les argiles de diverses provenances, mais encore les différences que présentent les parties d'un même gisement, différences parfois tellement prononcées qu'elles en modifient les applications et l'emploi. Cette variation incessante dans la qualité des terres exige des changements continuels dans la composition des pâtes céramiques, et constitue la principale difficulté que potier ait à vaincre pour maintenir l'identité de ses produits.

Les argiles pures ou qui ne contiennent que du sable quartzeux et quelques centièmes de fer, sont infusibles à la plus haute chaleur de nos fourneaux ; il en est cependant qui subissent un commencement de ramollissement, décélé par l'aspect lustré qu'elles prennent dans leur cassure. Ce ramollissement a pour cause le rapport existant entre les quantités de silice et d'alumine contenues dans les silicates qui constituent

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ces argiles, ou plutôt dans les composés nouveaux qui se forment sous l'influence du feu.

On voit en effet par les expériences synthétiques de Berthier (1) que les silicates :

$Al^2O^3, {}_2Si, O^3$		$Al^2O^3, {}_3Si, O^3$
Silice 100		100
Alumine 56.66		37.77

« paraissent être les plus ramollissables de tous, et qu'on di-« minue leur fusibilité en y ajoutant soit de la silice, soit de « l'alumine. » M. Bischof, dans un travail récent (2) range également, sous le rapport de leur fusibilité relative, les silicates d'alumine dans l'ordre suivant :

$Al^2O^3, {}_3Si, O^3$
$Al^2O^3, {}_2Si, O^3$
$Al^2O^3 \quad Si, O^3,$

Théoriquement, on pourrait craindre que des argiles très-siliceuses ne pussent résister à l'action corrodante des substances vitrifiables. A ce point de vue, on est porté à donner la préférence aux terres riches en alumine. Mais, s'il est vrai que la silice libre est plus attaquable que l'alumine par les oxydes ou les sels en fusion, il n'en est probablement plus ainsi des silicates d'alumine, et nous citons, à l'appui, ce fait, que, à la manufacture de cristaux du Val-Saint-Lambert (Liége), un pot dont la pâte était composée d'un ciment contenant, pour 100 de silice, 13,5 d'alumine, et d'un mélange de terres plastiques où il y avait 19 d'alumine pour 100 de silice, a servi pendant 77 jours, ce qui dépasse de beaucoup la durée moyenne.

Les argiles contiennent presque toujours du sable, qui s'y trouve tantôt en grains assez gros pour pouvoir en être extrait par un simple délayage dans l'eau, suivi de décantation ; tan-

(1) Traité des essais par la voie sèche, t. I, p. 428.
(2) *Dingler's polyt.* Journ. T. CLXV, p. 378,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tôt en grains tellement fins, qu'on ne peut l'en séparer que par des traitements alternatifs au moyen de l'acide sulfurique et de la potasse caustique, jusqu'à complète solution des principes constitutifs de l'argile. Très-souvent aussi on rencontre le gros sable et le fin réunis dans la même terre et parfois en quantités considérables. Beaucoup de chimistes n'ont pas distingué, dans les analyses, la silice combinée d'avec le sable quartzeux. Par cette confusion, ils ont attribué une même composition à des argiles différemment constituées et donné des compositions différentes à un même silicate d'alumine contenu dans divers échantillons d'un même gisement.

C'est ainsi qu'on a assigné aux argiles de Forges-les-Eaux et de Montereau les compositions presque identiques ci-après :

	Forges-Les-Eaux.	Montereau.
Silice	0.650	0.644
Alumine	0.240	0.246
Oxyde de fer	traces	traces
Eau	0.110	0.100
	1.000	0.990

Cependant, elles ne peuvent avoir la même constitution, puisqu'on reconnaît à la première, pour faire les pots de verrerie, des qualités qu'on n'admet pas dans la seconde (1). C'est ainsi encore que deux échantillons provenant d'une même osse (Samson-Lionnet, province de Namur), mais pris à des profondeurs différentes, ont d'abord donné à l'analyse:

Eau, etc	11,87	8,62
Silice	58,10	73,15
Alumine	26,30	15,70
Oxyde de fer	2,80	2,15
Chaux	0,80	0,20
Perte	0,13	0,18
	100,00	100,00

(1) *Traité des Arts céramiques*, par Brongniart, t. II, p. 247.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

et qu'après en avoir dosé le sable séparément, nous sommes arrivé à la composition suivante :

Eau		11,87	8,62
Silice		40,10	24,75
Alumine		26,30	15,70
Oxyde de fer		2,80	2,15
Chaux		0,80	0,20
Sable	gros	1,45	10,10
	fin	16,55	38,30
Perte		0,13	0.18
		100,00	100,00

Le calcul indique que, dans ces deux échantillons, il y a, pour 100 de silice, 64 d'alumine : ce qui démontre que l'un et l'autre renferment le même silicate, mélangé à 18 pour 100 de sable dans le premier et à 48 dans le second.

Le sable exerce sur les qualités des argiles une très-grande influence qu'on a souvent attribuée à d'autres causes. En grains très-fins et sous l'action d'une haute température, il entre en combinaison avec les éléments de l'argile, pour former, selon les proportions, des composés réfractaires ou ramollissables.

L'argile la plus ramollissable qui contient :

Silice	100
Alumine	37.77

acquiert plus de résistance au feu par l'addition de 33,33 de sable fin, et devient très-réfractaire, si la dose en est doublée. Au contraire, une argile réfractaire composée de :

Silice	100
Alumine	113.33

deviendra ramollissable si l'on y incorpore 100 de sable fin, et le ramollissement arriverait à son maximum, si la quantité de sable ajouté était de 200.

Lorsqu'il est en gros grains, le sable n'exerce qu'une action relativement très-lente, et on le retrouve disséminé dans la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pâte, sous forme de points blancs très-visibles; il y joue donc le rôle de matière dégraissante ou de ciment.

En examinant attentivement des fragments d'un pot de verrerie qui avait subi l'action d'un feu violent et de longue durée, nous avons pu y distinguer des grains de sable dont le diamètre pouvait varier de $0^{mm}039$ à $0^{mm}070$. Le sable extrait par lévigation des argiles dont le pot avait été formé, présentait au microscope des grains d'un diamètre de $0^{mm}034$ à $0^{mm}085$.

D'après ces chiffres, que nous ne donnons que comme approximation, la distinction que nous avons faite entre le gros sable extrait par lévigation et le sable fin retiré par traitement chimique pourrait être admise au point de vue technique.

En résumé, l'analyse chimique représentant la composition réelle des argiles, distinguant, dans la roche, ce qu'elle contient à l'état de combinaison, de ce qui s'y trouve à l'état de mélange, et indiquant les proportions de sable gros et de sable fin, donne les indications les plus utiles au praticien. Elle lui fait connaître les qualités réfractaires de ses terres sans qu'il ait besoin de les soumettre à des essais pyrognostiques; elle le dirige dans le choix des matériaux dont il dispose, et lui donne les moyens de calculer les proportions des différentes matières qu'il doit réunir pour former des pâtes résistant au feu. Enfin, elle fait entrevoir la possibilité de créer artificiellement et à prix réduits, soit par l'association d'argiles de compositions déterminées, soit par l'incorporation d'une certaine quantité de sable fin, des mélanges jouissant de la même propriété réfractaire que celle des terres les plus renommées.

Peut-être l'analyse chimique, en faisant connaître les proportions des matières dégraissantes contenues dans les terres, parviendra-t-elle un jour à résoudre un problème non moins important, celui de l'évaluation de la plasticité des terres. Si ce but pouvait être atteint, on supprimerait ou l'on diminuerait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

considérablement les épreuves empiriques auxquelles le praticien est forcé de se livrer pour apprécier la ténacité de ses pâtes, leur facilité de façonnage, leur retrait au feu, en un mot, toutes les propriétés physiques dont la connaissance lui est nécessaire pour conduire son travail à bonne fin. Des essais faits dans cette voie par l'habile directeur de la manufacture de cristaux du Val-Saint-Lambert, M. J. Deprez, ont donné des résultats très-encourageants.

Si, avant d'examiner en détail les produits exposés, nous avons insisté sur ces considérations générales, c'est qu'elles nous ont paru présenter aux fabricants de produits réfractaires quelques jalons scientifiques qui pourraient les guider dans la voie du progrès.

CHAPITRE II.

PRODUITS EXPOSÉS.

Les produits réfractaires sont représentés par 61 exposants qui se répartissent comme suit entre les divers pays : Belgique 16, France 15, Grande-Bretagne 12, Prusse 5, Autriche 4, Suède 2, Suisse 2, Italie 2, Espagne 1, Wurtemberg 1, Bavière 1. Dans leur ensemble, ces produits, rangés dans les classes 40, 47, 51 et 65, suivant les divers usages auxquels ils sont destinés, témoignent hautement des progrès accomplis, depuis le dernier concours international. Ils sont généralement d'un fini remarquable et plusieurs se distinguent par des dimensions extraordinaires qui impliquent de grandes difficultés de façonnage et de cuisson.

Quelques exposants pensant, avec raison, qu'aux yeux du public les qualités extérieures des objets réfractaires n'offrent pas une garantie suffisante de leur mérite essentiel, qui consiste dans la résistance au feu, ont cru devoir en faire figurer qui avaient passé par l'épreuve d'une haute température ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais, nous l'avons déjà fait remarquer, un témoignage isolé de ce genre ne saurait établir que le fabricant a su vaincre la principale difficulté du métier, celle d'obtenir une identité constante de produits ; il faut en outre qu'il s'appuie tout au moins sur une réputation déjà bien établie.

§ 1. — Belgique.

La Belgique soutient dignement le renom qu'elle s'est acquis dans ce genre de fabrication. Comme en 1855, elle se place au premier rang par la grande variété, la bonne confection et le bas prix de ses produits. Ses cornues pour la distillation de la houille ; ses pots de verrerie ; ses pierres à étendre ; ses creusets pour fonderies ; ses briques pour le revêtement intérieur des hauts fourneaux, des fours de fusion, des fours à coke, à gaz, de verrerie, des fours à réchauffer et à puddler ; pour foyers de générateur, etc., forment l'assortiment le plus complet qui figure au Champ de Mars.

Peu de pays sont, au surplus, dans des conditions aussi favorables pour ce genre de fabrication que la Belgique. Elle trouve, en abondance, dans son sol, toutes les matières premières : argiles plastiques d'excellente qualité, sables purs, quarzite éminemment réfractaire ; elle dispose enfin d'un combustible peu coûteux et de bonne qualité. Et tous les centres de production de ces diverses matières, situés dans des localités très-rapprochées, sont reliés entre eux par de nombreuses voies de communication. Ces précieux avantages permettent d'obtenir des produits réfractaires de qualité supérieure et à des prix modiques. Aussi cette industrie a pris une importance considérable en Belgique, où l'on compte aujourd'hui une trentaine de fabriques spéciales, sans y comprendre les poteries annexées à chaque verrerie et aux nombreuses fonderies de zinc.

Il y a en Belgique deux groupes principaux d'exploitation de terres réfractaires. Le plus important, celui d'où l'on tire les terres de qualité supérieure, comprend les gîtes nombreux

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qu'on rencontre sur la rive droite de la Meuse, entre Andennes et Namur. Le second appartient au Hainaut et à l'Entre-Sambre-et-Meuse : on y trouve les gîtes de Baudour, Châtelet, Mont-sur-Marchienne, Morialmé, Walcourt, etc., dont les terres, quoique moins sableuses, moins plastiques et moins pures que celles du canton d'Andennes, fournissent, bien employées, des briques réfractaires pour les fours à coke, les foyers de générateur, les fours de laminoir, enfin pour les usages qui ne requièrent pas des matériaux de premier choix.

La Société anonyme des terres plastiques et produits réfractaires d'Andennes, qui se distingue dans la fabrication des chemises de haut fourneau, a exposé une nombreuse série de briques à cet usage, parmi lesquelles on en remarque deux, l'une pour couverture de tuyère, de 1m17 de long sur 1m20, 0m52 de large et 0m40 d'épaisseur, pesant 585 kilogrammes; l'autre pour pont de creuset, de 1m50 de long, 1m03 de large et 0m21 d'épaisseur, du poids de 429 kilogrammes. Ces objets justifient la réputation de supériorité que cette maison s'est acquise par les soins qu'elle apporte dans le choix des matières premières, la préparation intelligente des pâtes, la bonté du façonnage et une cuisson parfaitement appropriée.

Cette Société est parvenue à substituer, dans la construction des creusets de haut fourneau, la brique réfractaire au poudingue quartzeux de Marchin (Liége), si recherchée, pour ses qualités extrêmement réfractaires, par les maîtres de forges du nord de la France, de la Prusse rhénane, de la Bavière, de l'Autriche et de la Saxe. Le mètre cube de briques ne coûte que 125 à 150 francs et pèse seulement 2,000 kilogrammes, tandis que les pierres de Marchin pèsent, par mètre cube, de 2,700 à 2,800 kilogrammes, au prix de 225 à 250 francs, et sont assez sujettes à éclater. Les cornues à l'usage des usines à gaz que fabrique l'établissement d'Andennes sont très-estimées. Une cornue forme ⊐, pesant 580 kilogrammes et ayant 2m50 de long se paye 53 francs. Une cornue, même forme, de 3m05 et du poids de 800 kilogrammes, 80 francs.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'exposition de M. F. Coste, à Tilleur (Liége), comprend un assortiment très-complet de creusets en plombagine et d'autres en terre réfractaire, dont les prix varient de 5 centimes à 10 francs. Ces produits, qui jouissent à un haut degré de toutes les qualités requises et soutiennent la comparaison avec ce que les Anglais font de mieux en ce genre, ont été reconnus par M. Sainte-Claire-Deville comme les meilleurs parmi les nombreuses variétés exposées à Paris en 1855; depuis lors, l'Exposition de 1867 le prouve, M. Coste n'a fait que perfectionner sa fabrication. Nous devons également mentionner la Société des produits réfractaires de Saint-Ghislain-lez-Mons; MM. Puissant frères, à Charleroi; Mme Vve de Fuisseaux, à Baudour; M. Parmentier, à Jumet, qui ont envoyé au Champ-de-Mars des produits dignes du renom dont jouissent ces industriels. Dans l'exposition du dernier figure une pierre à étendre le verre à vitre, dont l'exécution parfaite et les grandes dimensions (3 mètres de haut sur 1 mètre 25 de large) ont excité l'admiration des visiteurs.

§ 2. — France.

Les produits réfractaires qui figurent dans le compartiment français forment deux séries principales : les objets destinés aux établissements industriels et ceux qui sont à l'usage des laboratoires de chimie. Nous mentionnerons, parmi les expositions les plus remarquables appartenant à la première série, celles de MM. Louis Bousquet et Cie, à Lyon-Vaise, et de la Société parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz. Fondée en 1854, la maison Louis Bousquet et Cie s'est acquis une réputation méritée dans la fabrication des cornues à gaz, qu'elle fournit aujourd'hui à près de 400 usines de tous les pays : en France, en Italie, en Espagne, en Suisse, en Allemagne et jusqu'en Russie. Un si grand succès ne peut être obtenu que par la supériorité des produits et surtout par la permanence de leurs qualités. Si les cornues de ces exposants ne sont pas

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

irréprochables sous le rapport de la forme et du fini, en revanche elles jouissent d'une telle force de résistance au feu qu'elles peuvent être placées dans les fours n'étant supportées que par les deux extrémités. Cette qualité procure un double avantage : d'abord, suppression des pièces de four (voussoires, carnaux, supports) et par là réduction considérable des frais de montage; ensuite économie de combustible, à raison de la rapidité avec laquelle s'opère la distillation, lorsque les cornues sont soumises à l'action directe du foyer. Une cornue de 2m65 de longueur, qui a servi dix-huit mois, supportée par les deux bouts, à l'usine à gaz de Vaise, figure parmi les objets exposés.

Indépendamment de la supériorité de leurs cornues, due tout entière à un choix scrupuleux des matières et à une surveillance incessante, à mesure que leurs relations se sont étendues et que par là leur prix de revient s'est graduellement abaissé, MM. L. Bousquet et Cie ont cherché à en faire profiter leur clientèle, en réduisant successivement leurs prix de vente. C'est ainsi qu'une cornue moyenne, qui, lors de leur début en 1854, se vendait 130 francs, se paye aujourd'hui 85 francs, soit près de 35 pour 100 de moins.

La difficulté de se pourvoir ailleurs de cornues et d'autres produits spéciaux en terre réfractaire a forcé les Compagnies gazières de Paris (aujourd'hui réunies sous la raison de Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz) à fabriquer elles-mêmes les pièces réfractaires nécessaires à l'alimentation de leurs usines. La fabrique de la Villette, par les développements qu'elle a reçus, peut non-seulement satisfaire aux besoins de la Compagnie parisienne, mais encore fournir au commerce des produits de premier choix, au double point de vue de la qualité des terres et de l'exécution. La Compagnie expose de très-beaux spécimens de sa fabrication, tels que cornues de toute dimension, carreaux de revêtement, moufles, pièces spéciales pour calorifères et un petit modèle très-bien fait d'un four pour la distillation de la houille.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Grâce au développement que l'enseignement professionnel reçoit aujourd'hui, la fabrication des ustensiles et appareils de laboratoire destinés aux essais industriels et commerciaux prend de jour en jour plus d'importance. Aussi cette spécialité, jadis très-limitée, est-elle représentée au Champ de Mars par quatre exhibitions des plus remarquables, où l'on trouve un ensemble complet de fourneaux à main, à réverbère, à bassines, à tubes, à coupelles, etc.; de creusets ronds ou triangulaires, tâts à rôtis, moufles à coupellation, etc. La fabrique Deyeux, qui date de 1842, et la maison Couenne-Hatier, primitivement fondée sous la raison sociale F. Landot dit Beaufay, Souchart et Cie, méritent d'être particulièrement citées pour les belles qualités de leurs produits. Toutes deux ont déjà été mentionnées à l'Exposition de 1855.

§ 3. — Grande-Bretagne.

La fabrication des produits réfractaires ne compte pas dans la section anglaise un nombre d'exposants en rapport avec l'immense développement qu'elle a pris depuis longtemps dans les Iles-Britanniques. Néanmoins, les objets présentés à l'Exposition forment, par leur choix et leur perfection exceptionnelle, une collection très-importante. Particulièrement favorisés par la nature, nos voisins trouvent dans leur terrain houiller des argiles schisteuses à pâte fine, alternant avec les couches de combustible, et qui sont éminemment réfractaires. Ces argiles n'ont pas la plasticité qui caractérise les argiles supérieures aux terrains néocomiens et crétacés, et ne pourraient que difficilement se prêter au modelage des objets qui exigent une certaine délicatesse de contours; ce n'est même que par une longue exposition à l'air qu'elles se désagrègent suffisamment pour être travaillées, tout en se débarrassant, par vitriolisation, des parcelles de pyrite disséminées dans leur masse.

Ces argiles schisteuses présentent, comme les autres, de très-grandes différences de composition, à en juger d'après

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les analyses de M. le Dr Richardson (1), qui se rapportent à sept variétés provenant du bassin houiller de Newcastle-sur-Tyne, et employées dans la fabrique si renommée de M. Cowen, où on les mélange en diverses proportions, selon les produits à obtenir. L'argile du bassin houiller de Dudley, surtout celle qui est exploitée à Stourbridge, s'exporte dans une grande partie de l'Angleterre. C'est avec cette dernière qu'on fabrique les creusets pour la fonte de l'acier, à Sheffield et à Newcastle. Elle n'éprouve presque point de retrait au feu, ce que démontrent de nombreux échantillons exposés, formés de deux fragments, dont l'un a été cuit et l'autre est resté cru, et qui se raccordent parfaitement dans leurs cassures les plus irrégulières.

Les argiles du terrain houiller, qui ne se retirent pas lorsqu'on les cuit, renferment sans doute un ciment naturel; elles peuvent donc à elles seules former des pâtes céramiques et être mises directement en œuvre. Nous avons vu faire à Govan (Glascow) des briques de haut-fourneau d'une simple pâte d'argile schisteuse, délitée à l'air et broyée avec de l'eau jusqu'à consistance convenable, dans un moulin à meules à plateau tournant. Cependant, pour les cornues à gaz et les pots de verrerie, on y ajoute toujours du ciment provenant, soit de la même argile, soit de tessons de vieux pots, dont on a enlevé toute trace de matière vitrifiée. Parmi les expositions les plus remarquables, nous signalons celles de MM. Harper et Moores, Perrens et Harrison, de Stourbridge; Cliff et fils, de Wortley, près Leeds.

Six exposants ont présenté des creusets de plombagine, d'une exécution remarquable. La plombagine, qui se mélange aux argiles plastiques de la manière la plus intime, sans leur faire perdre aucune de leurs propriétés, constitue un ciment absolument infusible par lui-même et formant, selon l'expression si exacte de Berthier, *comme une ossature solide qui re-*

(1) *Chimical technology.* Vol. II, p. 356.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tient par adhérence l'argile ramollie et l'empêche de s'affaisser. Les creusets de plombagine ont le précieux avantage de s'échauffer plus vite que les creusets de terre, donc économie de temps et de combustible; de se manier à la pince, sans se rompre ni s'écailler; d'être à l'épreuve des plus brusques changements de température, et de résister à l'action chimique des cendres; ils sont d'une durée plus longue conséquemment. Enfin ils possèdent une qualité très-appréciée des affineurs : l'intérieur en est tellement lisse que leur contenu peut être déversé sans qu'aucune particule métallique reste adhérente aux parois. La plombagine étant d'un prix assez élevé, ces creusets coûtent, il est vrai, plus que les creusets ordinaires; mais comme ils durent beaucoup plus longtemps et qu'ils font en moyenne de 30 à 40 fontes, ils sont en réalité plus économiques. Les creusets de plombagine brevetés de la Compagnie de Battersea et de M. J. Hynam, de Londres, se distinguent entre tous.

§ 4. — Autres pays.

Les produits réfractaires occupent aussi une place considérable dans l'exposition allemande. On trouve, sur les bords du Rhin, des argiles plastiques excellentes, exploitées par MM. Vigen et C^ie^, qui ont fondé, en 1856, à Duisbourg, un établissement où ils emploient 120 ouvriers. Il y a été produit, en 1866, 18,938,869 livres d'objets divers : cornues à gaz, creusets, briques pour chemises de hauts-fourneaux et revêtement de fours ordinaires, etc. La confection en est fort bonne, et le chiffre que nous venons de citer témoigne hautement de la vogue que ces produits ont acquise. Nous mentionnerons encore MM. Richter (Autriche), Curcuny (Espagne), Graff (Bavière), dont les produits présentent les caractères d'une bonne fabrication; enfin M. Stoelzel Otto (Société du Steinberg, à Cassel), qui, avec l'argile de Gross Almerode, matière première des creusets de Hesse, jadis si renommés, a produit

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

également des pierres réfractaires de très-grande dimension (10 pieds cubes) et parfaitement réussies. En terminant, nous exprimerons le regret de n'avoir vu à l'Exposition aucun échantillon des creusets de Passau (Bavière), dont la vieille réputation eût pu trouver ainsi l'occasion de se rajeunir.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VII

MATÉRIAUX ET APPAREILS DES USINES A GAZ

PAR M. LAWRENCE SMITH (1).

Nous sommes devenus tellement familiers avec l'emploi et la production du gaz d'éclairage résultant de la houille que, comme pour beaucoup d'autres inventions qui sont passées dans le domaine des choses usuelles, nous perdons de vue la grande utilité du produit, l'importance de l'industrie et de tout ce qui s'y rattache, pour reporter notre admiration sur des découvertes plus récentes, plus brillantes, mais d'une bien moindre valeur industrielle. Et pourtant, si nous reportons nos regards sur l'origine et le développement de cette industrie, sur ses effets directs ou indirects, sur les progrès réalisés de notre temps, nous devons certainement la considérer comme une des inventions les plus importantes du siècle présent, et comme ne le cédant qu'à celle de la machine à vapeur.

Son effet direct est de changer la nuit en jour, de rendre les sombres et courtes journées d'hiver égales à celles d'été, de donner ainsi aux ouvriers de l'industrie plus de temps pour traiter leurs affaires du dehors, et de leur permettre de se livrer à leur labeur quotidien avec moins de fatigue pour les yeux et avec une certitude plus grande d'exécution.

(1) Ce rapport devrait être placé à la suite ou en avant du rapport de M. E. Pelouze; mais il nous a été remis trop tardivement, et il ne nous a pas même été possible de l'indiquer au sommaire de la classe 51. Bien qu'une partie du sujet ait été traitée par M. Pelouze à peu près de la même manière, il nous a paru que nous ne devions pas craindre de publier ces pages telles que nous les a envoyées M. Lawrence Smith, heureux d'avoir encore pu lu trouver une place dans la classe même.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Sous ce point de vue seulement, le surcroît de richesse qu'y ont gagné les arts industriels est incalculable.

Quant à ses effets indirects, ils n'ont pas une moindre importance. L'emploi de l'éclairage au gaz a fait bénéficier l'agriculture d'immenses étendues de terre qu'il faudrait sacrifier à la culture de plantes et matières grasses oléagineuses propres à fournir l'éclairage; il a rendu disponibles des centaines de navires et des milliers de matelots que requerrait la pêche de la baleine et les autres pêches, dans l'unique but de fournir le contingent d'huile nécessaire à l'approvisionnement de la lumière d'éclairage.

Considéré comme objet du luxe, le gaz a rendu des services qui ne sont pas moindres ; il a abaissé le prix de maints articles à un point tel que riches et pauvres peuvent se les procurer; nous en voyons une preuve dans le brillant éclat des rues de nos cités que les populations peuvent traverser de nuit avec autant d'aisance et de sécurité qu'en plein jour. Ce n'est pas tout encore: les résidus nauséabonds, qui sont les résultats naturels de la fabrication du gaz, ont donné naissance à des études industrielles qui, en absorbant de grands capitaux, donnent un surcroît nouveau de richesses. Le coke, l'ammoniaque, les résines et goudrons, n'ont pas eu d'autres sources depuis bien des années; mais cette exploitation a été depuis abandonnée pour une industrie plus récente, développée par la chimie, l'extraction du goudron, par un procédé plus ou moins direct, de ces beaux composés cristallins qui servent à donner à la soie, à la laine et au coton des couleurs brillantes. Cette découverte exerce à son tour sur la fabrication des divers textiles une influence de jour en jour plus grande.

Mais ces faits seront développés à fond dans le rapport spécial sur les couleurs de houille par le professeur Hofmann, auquel on doit tant pour la fabrication de ces couleurs. Le présent rapport n'a ni pour objet ni pour mission d'entrer dans les détails historiques de l'origine et des développements de cette industrie. De même que pour beaucoup d'autres grandes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

découvertes, on y était préparé et on s'y attendait, l'esprit de beaucoup de personnes s'en préoccupait, et le savant philosophe écossais, le docteur Chalmers, à une époque où les rues de toutes les grandes cités étaient éclairées à l'huile au moyen de réverbères, soutenait que le temps n'était pas loin où l'huile serait remplacée par un gaz hydrogène carburé; telle était l'énergie de ses convictions à ce sujet que, lors de la réparation de sa maison, il fit placer dans les murs un système de tubes et de tuyaux pour faire arriver dans les diverses chambres le fluide gazeux qui devait servir comme agent d'éclairage. C'est alors qu'il se trouva deux hommes doués d'une grande habileté et d'un esprit pratique pour donner une forme à ces aspirations vagues, et réaliser pratiquement ce qui existait dans l'esprit de quelques théoriciens: ce furent Murdock, en Angleterre, et Lebon, en France. Auquel des deux revient le mérite de l'invention ? Une combinaison de circonstances milite en faveur du premier, et je pense que des recherches impartiales faites à ce sujet ne manqueront pas d'attribuer à W. Murdock, de Redroth, dans le comté de Cornouailles, le mérite exclusif de l'application pratique du gaz de houille à la production de la lumière artificielle, faite vers l'année 1800; et un fait digne de remarque, c'est que cette découverte fut l'objet d'une exhibition publique, en réjouissance de la fin de la guerre et du renouvellement de la paix, lors de la grande illumination qui eut lieu en Angleterre en commémoration de la paix de l'Amérique, en 1812.

Depuis le commencement de ce siècle jusqu'à nos jours, l'industrie du gaz de houille s'est graduellement perfectionnée, et la nature mixte de ce composé s'est simplifiée de plus en plus, en rendant le gaz d'éclairage plus adaptable aux divers besoins auxquels on l'applique. Les produits condensables et les impuretés en ont été plus habilement éliminés, et ces dernières ont à leur tour été utilisées à divers usages, en attendant que la houille puisse être expédiée de la mine à l'usine, dépouillée de tout ce qui n'est pas utile. Dans une revue systématique de l'industrie du gaz et des pro-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

duits qui en dérivent, en tant que cela concerne les perfectionnements de récente date dont l'Exposition de 1867 a donné des exemples, il est en quelque sorte impossible de limiter ses observations à la classe 51, sans empiéter un peu sur les classes 24, 40, 53 et 65.

§ 1. — Matières employées pour faire du gaz d'éclairage.

Sous ce rapport, l'Exposition ne présente rien de nouveau. Peu de mots suffiront pour présenter tout ce que l'on connaît aujourd'hui à cet égard. Les matières employées dans la fabrication du gaz peuvent être comprises dans l'énumération suivante, savoir : la houille, le bois, le brai, la résine, les huiles, les graisses, le pétrole ; il existe encore d'autres produits d'origine animale et végétale qui ont été proposés et même employés sur une petite échelle, les os, etc.; mais, parmi toutes ces matières premières, il n'en est pas qui puisse entrer en concurrence avec la houille, à moins que ce ne soit dans quelques circonstances exceptionnelles, car non-seulement la houille fournit du gaz économiquement, mais elle donne encore des résidus précieux, par exemple, le combustible nécessaire à la production dudit gaz, en bien plus grande quantité qu'il n'en faut pour cela, et bien d'autres déchets importants, tels que du goudron, de l'ammoniaque, etc.

Quant à la question de la substitution du pétrole au charbon, elle ne mérite pas pour le moment d'être prise en sérieuse considération. Il peut être parfois avantageux d'ajouter une quantité convenable de pétrole, alors que celui-ci abonde et que la houille employée demande à être additionnée de quelque autre matière pour donner du gaz d'un grand pouvoir éclairant; dans ce cas il peut être bon d'ajouter de 80 à 120 litres de pétrole pour 1,000 kilogrammes de houille ; la poix et la résine pourront encore, par la même raison, si on parvient à les obtenir à peu de frais, être mêlées à de la houille. Toute autre adjonction, telle que la vapeur d'eau, ne sert qu'à diluer le gaz et à diminuer sa qualité. La houille bitumineuse, sous toutes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ses variétés de formes, n'a pas jusqu'à ce jour trouvé de rivale, et vraisemblablement n'en rencontrera pas de longtemps.

Je mentionnerai le fait suivant, qui se rattache à la fabrication du gaz de bois, dans les contrées ou le bois abonde, quand la houille est inabordable, sous le rapport du prix. Le bois additionné de quelques substances qui fournissent un riche hydrocarbure, pourra donner un gaz d'éclairage très-bon et très-économique, surtout si les résidus des cornues et de la matière distillée avec le gaz peuvent être employées à quelque usage. On rapporte qu'à Cobourg, dans le Canada, les matières suivantes ont été employées avantageusement et ont donné de très-bon gaz et un résidu utilisable, savoir :

Bois de pin.....	2 parties.
Bois dur.....	1 —
Os.....	1 —

Avec ce mélange, les cornues fourniront un très-bon charbon propre aux opérations de blanchiment; les autres résidus trouveront également bien leur emploi. Si l'on ne peut se procurer d'os, on pourra utiliser les entrailles d'animaux et toute autre substance animale grossière, en mélange avec le bois. Cette donnée mérite d'être prise en considération, surtout dans une infinité de petites villes qui se trouvent dans des conditions particulières.

§ 2. — Cornues et fourneaux.

Sous le rapport du matériel, les cornues et les fourneaux peuvent être placés en première ligne et sont les parties les plus essentielles pour la fabrication du gaz; l'Exposition présente nous en offre de riches spécimens provenant de contrées diverses. Dans la section de la Belgique, nous avons la brique réfractaire, les blocs et les cornues de la Société anonyme des terres plastiques et produits réfractaires d'Andennes. Cette Compagnie emploie annuellement près de 10,000 kilogrammes de terre, qui demandent le service de 220 hommes environ et de 32 grands fours. Entre autres articles exposés par cette Com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pagnie, sont de très-grandes cornues, dont une a 3 mètres de longueur et 66 centimètres de travers, avec une bouche de 40 centimètres et 40 centimètres d'épaisseur. Elle pèse environ 800 kilogrammes et elle est de la meilleure construction; on peut en dire autant de tous les autres articles exposés par cette Compagnie. Auprès des cornues susmentionnées, se placent celles de Sugy et Cie, de Gand, qui approvisionnent en grande partie les usines à gaz d'Allemagne. La Prusse a exposé d'excellents produits en terre réfractaire, des manufactures de MM. Vygen et Cie, de Dinsburg, qui sont fort en usage en Allemagne, en Hollande et en Suisse. L'Angleterre est représentée par les produits bien connus de MM. Cliff et fils.

La France fournit des cornues et des fours à gaz d'excellente qualité. Elle compte plusieurs exposants; mais l'exposition la plus remarquable est celle de MM. Bosquet et Cie, de Lyon, il faut mentionner aussi celle de la Compagnie du gaz de Paris. Les cornues du premier de ces établissements sont couvertes d'une porte d'émail noir et sont placées dans les fours, supportées simplement à leurs deux extrémités. Sans nous livrer à d'autres considérations, nous exprimerons quelques doutes touchant ce genre de support, dont la simplicité nous semble acquise aux dépens de la sécurité. Il n'y a toutefois pas d'établissement aussi parfaitement organisé ou qui se conforme aussi strictement, dans le choix de ses matières, aux données les plus rationnelles, que la Compagnie parisienne du gaz, sur laquelle il convient de donner quelques détails, son mode d'opération pouvant être avantageusement suivi par d'autres grandes Compagnies.

L'établissement de cette Compagnie est à la Villette, position on ne peut mieux choisie à cause des communications par voies ferrées et par eau, qui permettent d'amener sur ce point toutes les matières nécessaires; il est situé sur le même terrain que les vastes usines à gaz de cette localité, et son installation date de la fusion de toutes les usines à gaz de Paris, il y a douze ans; il approvisionne de cornues et autres matières

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réfractaires toutes les usines de Paris et des autres villes de France. Les broyeurs-mélangeurs y sont mus par une force de 40 chevaux; mais toutes les autres manipulations, après le malaxage de la terre, se font à la main et occupent 40 ouvriers environ, car il n'existe pas encore de machines pouvant utilement remplacer la main de l'homme pour donner l'uniformité et la solidité nécessaires à la matière plastique employée pour faire les cornues et les énormes blocs que l'on forme en unissant intimement, en petits blocs, la matière employée. Pour ce dernier travail, on emploie ou un marteau de fer ou un maillet de bois. Les articles fabriqués annuellement par la Compagnie du gaz parisien, sont :

Cornues.	3,000
Blocs	20,000
Briques.....	1,000,000

La cuisson de ces articles s'opère dans des fours chauffés au coke. Il est un fait intéressant qui se rattache à cet établissement : c'est que rien ne s'y trouve perdu; la cendre même des fourneaux est utilisée pour fabriquer une tuile dont on couvre les aires de la fabrique; l'excédant se vend encore au dehors pour servir au même usage, dans les étables, écuries, etc. Ces cendres sont mêlées à un ciment qui les consolide : environ 50 pour 100 de cendres entrent dans cette composition.

Entre autres articles exposés par la Compagnie, on voit de grandes pièces de matières réfractaires: l'une d'elles est un tube parfait, mesurant 3 mètres de long et 1 mètre 20 centim. de diamètre; une autre est une masse solide compacte de 18,000 kilogrammes, destinée à constituer la sole d'un four; il y a, en outre, un petit modèle complet du four à gaz de la Compagnie, avec cornues, etc.

Dans l'exposé ci-dessus relatif aux cornues à gaz, il n'y a rien qui n'ait été décrit déjà dans ces cinq dernières années; ce qu'on a eu simplement pour but de démontrer, c'est que le système de cornues en fer, en usage d'abord, est plus que jamais exclu des usines à gaz; car si la cornue en

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

terre demande, pour être chauffée, un peu plus de combustible que celle de fer, ce défaut est plus que compensé par son prix de revient, sa résistance et la possibité qu'elle offre d'endurer une haute température, une température plus appropriée à la génération du gaz, 700 degrés centigrades, par exemple, que ne saurait supporter une cornue en fer. Quant à la manière de placer les cornues dans les fours, divers ingénieurs varient leurs procédés, et chaque arrangement a ses défenseurs. Dans les usines à gaz de Londres, les fours sont souvent destinés à recevoir dix cornues de 6 mètres de long, ouvertes par leurs deux extrémités et composées chacune de 3 pièces. A Paris, les cornues sont d'une seule pièce, d'environ 3 mètres de long, ouvertes par une seule de leurs extrémités, et chaque four en contient six. Nous apprenons qu'à Londres il y a une tendance à abandonner le système des dix cornues et à adopter le chiffre de six ou huit par chaque four. Tout semble recommander ce dernier système : la régularité de température et la facilité de vider les cornues.

§ 3. — Conduites du gaz des cornues, condenseurs, etc.

Sous ce titre, peu d'idées nouvelles ont surgi à l'Exposition. Dans les usines à gaz précitées, toutes les conduites de la partie ancienne ont été trouvées trop petites, leurs dimensions ayant été basées sur des calculs faits en vue de gaz non mélangé d'épaisses vapeurs condensables, en suspension, vapeurs que l'on évite dans les constructions nouvelles.

Dans quelques usines, au lieu d'un tuyau principal hydraulique pour chaque rangée de bancs, on n'en emploie qu'un seulement pour les cornues fonctionnant dos à dos ; ce tuyau se place dans la ligne du centre. Le tuyau hydraulique est en tôle, d'un centimètre d'épaisseur, pour obvier à tout danger de rupture résultant d'un placement anormal ou d'une dilatation irrégulière, points qui méritent d'être pris en sérieuse considération. Quant aux condenseurs, depuis ces dernières

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

années, il n'y a pas eu de changements, frappants ou utiles, et l'Exposition elle-même n'a rien révélé de nouveau.

§ 4. — Méthode de chauffage des cornues.

Tout ce qui est nouveau en cette matière, c'est l'application du four à gaz de Siemens et de son fourneau régénérateur, dont on voit un modèle à l'Exposition. Comme cet appareil est d'un caractère général et déjà bien connu, nous laissons à d'autres rapporteurs tout ce qu'il y a à dire sur son application au chauffage des cornues à gaz; elle a été faite avec succès dans les usines à gaz de Vaugirard, à Paris, et dans celles de Birmingham, en Angleterre. Les expériences faites à Vaugirard eurent lieu avec un simple générateur employé pour le chauffage de seize fours, de huit cornues chacun, et l'on a trouvé qu'il y avait réalisation d'une économie de 22 à 29 pour 100 de combustible. Les résultats ont été assez satisfaisants pour encourager la Compagnie parisienne à adopter cette méthode pour ses autres usines, quand elles auront à être renouvelées ou réparées.

§ 5. — Tuyaux distributeurs du gaz.

Dans plusieurs des classes, il y a des tuyaux exposés pour la distribution du gaz ; ces tuyaux sont en fer fondu ou forgé, en papier bitumé, en tôle bitumée, en cuivre, en plomb, en bronze, en caoutchouc vulcanisé; ou même, comme dans la section anglaise, ils sont formés par une autre substance désignée sous le nom de *parkesine*. Comme la plupart de ces tuyaux seront l'objet d'un rapport fait par d'autres, nous nous bornerons à quelques observations en vue de leur emploi spécial dans la distribution du gaz. Le tuyau de fonte est encore en usage dans beaucoup de pays pour distribuer le gaz dans les cités. En France toutefois on y a plus ou moins renoncé, sans que la question de savoir s'il peut résulter quelque avantage de cette mesure soit tout à fait résolue.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

L'exposition des tuyaux de fonte des divers pays est certainement magnifique ; mais la beauté des fers fondus de France est sans rivale. Il y a bien quelques projets proposés pour la jonction des tuyaux, mais qui ne semblent pas absolument nouveaux ; un entre autres, de Marini, appelé le Joint universel, se compose d'anneaux de caoutchouc et de bandes de fonte ; mais il paraît douteux qu'un joint en caoutchouc puisse résister un certain laps de temps, quand il s'agira de conduire du gaz et que le joint sera constamment soumis à l'action de la naphte et autres produits condensables.

§ 6. — Tuyaux de fer forgé.

Les spécimens de ces tuyaux exposés méritent une mention spéciale qui sera faite par le rapporteur chargé de cette partie du travail ; quant à ceux qui sont destinés à la conduite du gaz, ils ne paraissent pas avoir un mérite supérieur à ceux qu'ont produit les expositions antérieures. L'emploi de ces tuyaux à la conduite du gaz dans les maisons est en France d'un usage très-limité, comparativement à leur emploi en Angleterre, en Amérique et dans d'autres parties du monde ; les tuyaux en plomb et en composition les remplacent presque partout. D'autres tuyaux purement métalliques, destinés à la conduite du gaz, ne présentent aucune nouveauté. Les spécimens de tuyaux de plomb exposés prouvent l'énorme développement et la grande perfection de ce genre de fabrication ; la longueur qu'on peut donner à un seul tuyau ne paraît pas avoir de limite ; il y en a un à l'Exposition qui mesure 2,500 mètres. Les tuyaux de caoutchouc ne présentent pas de perfectionnement quant à la qualité de leur composition ; ils sont tous perméables au gaz, défaut auquel on peut, du reste, remédier plus ou moins par deux ou trois couches d'huile de graine de lin bouillie appliquées sur la surface extérieure ; cette précaution rendra l'emploi de cette conduite beaucoup moins infectant, surtout dans les laboratoires de chimie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La parkésine est une composition artificielle pour tuyaux à gaz, laquelle, prétend-on, remplace avantageusement le caoutchouc ; elle se voit dans la classe 44 de la section anglaise et a, nous croyons, pour parties constituantes du coton-poudre et d'autres composés chimiques. Le tuyau bitumineux figure aussi à l'Exposition, et il est recommandé pour la conduite du gaz ; il est appliqué à cet usage en certains endroits ; mais l'action bien connue de quelques-uns des constituants du gaz sur le bitume semblerait militer naturellement contre son emploi.

§ 7. — Tuyaux en fer bitumé.

Sous ce titre sont exposés les tuyaux à gaz de MM. Chameroy et C^ie^, de Paris. Bien que ces tuyaux ne soient pas une invention de date récente, ils ont droit à une mention spéciale, leur fabrication ayant pris, dans ces dernieres années, un développement extraordinaire, tant pour la conduite des eaux que pour celle du gaz. La base de ce tuyau est la tôle de fer étamée de plomb ; son épaisseur varie suivant les dimensions qu'on veut lui donner et la pression qu'il doit subir. Chaque section de tuyau est faite de deux feuilles qui sont d'abord rivées l'une à l'autre séparément au moyen de rivets étamés, et puis plongées dans un bain de plomb fondu ; ces deux pièces du tuyau sont alors rivées ensemble à leur jonction, puis bien étamées ; le tuyau entier mesure alors quatre mètres de long ; aux extrémités sont disposées des douilles et emboitures convenables d'un mélange de plomb et d'antimoine, pour servir à la jonction de la section de tuyau, lors de sa pose dans le sol. La surface extérieure du tuyau est enduite de goudron, et tout autour est enroulée une corde que l'on recouvre ensuite d'une dissolution de poix ; alors on promène le tuyau dans du gros sable jusqu'à ce qu'il ait gagné une épaisseur de 8 à 16 centimètres.

La solidarité d'un tuyau de service avec ces tuyaux utilisés comme tuyaux de conduite s'obtient en soudant à ces derniers

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un tuyau de service en plomb en composition : c'est le moyen d'obtenir un bon joint. Il est impossible au rédacteur du présent rapport de formuler une opinion exacte sur le mérite de ce tuyau, comme conduite de gaz. Il se bornera à présenter un relevé statistique des produits de l'usine de MM. Chameroy et C^ie^.

Dans l'espace d'un an, cette usine a fourni 250 kilomètres de tuyaux (155 milles) pour conduire le gaz, d'un diamètre de 5 à 75 centimètres (1 3/4 à 28 pouces). La Compagnie du gaz parisien a posé en dix ans 708 kilomètres (436 milles) de ces tuyaux. Dans le palais de l'Exposition il y en a près de 16 hectomètres (1 mille), de 35 à 70 centimètres (12 à 24 pouces) de diamètre. Depuis la fondation de l'établissement en 1838, les produits de l'usine ont fourni :

En France, pour gaz.....	4,123 kilomètres.
— pour eau.....	1,062 —
En d'autres pays, pour gaz.....	9,328 —
— pour eau.....	3,728 —
Dont la valeur totale est de.....	38,542,000 francs.

§ 8. — Aspirateurs.

Pendant bien des années, l'adoption des aspirateurs a été considérée comme une économie dans toutes les grandes usines à gaz ; mais ils sont devenus d'une nécessité absolue, surtout depuis l'introduction des cornues de terre. L'Exposition n'offre pas de nouveaux perfectionnements en fait d'aspirateurs, et l'opinion des ingénieurs se partage encore entre l'emploi de cylindres aspirateurs et d'aspirateurs rotatifs. M. Schiele, de Francfort, à exposé un aspirateur rotatif qui fonctionne très-bien, dit-on, et présente des économies dans son prix de revient. Dans les usines à gaz de Paris, on emploie un aspirateur à trois cylindres de l'invention de M. W. Arsun. Un de ces aspirateurs y est en usage continu depuis huit années. M. Procli en a exposé un qui consiste dans de petits gazomètres, dont le fond est plongé dans le goudron et actionné alternativement par une des machines à gaz de Hugon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

§ 9. — Gazomètres.

Nous trouvons à l'Exposition des gazomètres humides et secs. Les premiers sont le plus communément en usage sur le continent européen. En France on n'emploie que peu de gazomètres secs : conséquement les perfectionnements se sont portés surtout sur les gazomètres humides.

Voici une des modifications apportées au gazomètre humide par la célèbre maison Brunet et C^ie^ : Le siphon et le régulateur sont recourbés dans un vaisseau portant un tube vertical qui entre dans le réservoir d'eau perdue ; ce tube est séparé par un diaphragme de l'intérieur de la boîte dans laquelle tourillonne l'axe du tambour. Le gazomètre fournit ainsi les conditions suivantes, lesquelles sont prescrites par l'Administration du gaz parisien et d'autres villes françaises.

Le surveillant, après avoir laissé ouverts tous les orifices du gazomètre, constate que le flotteur, le siphon, le siége hydraulique de l'arbre vertical et le tube d'induction de l'eau restent étanches sous une pression de 10 centimètres au moins.

D'autres exposants, tels que MM. Siry-Lizars et Cie, et M. Williams, présentent des appareils d'un travail parfait ; ces derniers manufacturiers apportent la plus grande attention à leurs appareils d'essai ou de réaction. Presque toutes les nations européennes sont représentées en fait de gazomètres, et l'Angleterre, pays où se consomme la plus grande quantité de gaz, s'est distinguée, comme on peut le croire, pour tout ce qui se rattache aux gazomètres secs et humides, lesquels ont une part très-grande dans la prééminence anglaise.

Les gazomètres secs de MM. George Glover et C^ie^ sont aussi complets qu'ils peuvent être, au point de vue de nos connaissances actuelles ; ils sont universellement renommés pour leur exactitude et leur durée.

Les gazomètres humides de la Compagnie *Le Globe Meter C^o^*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sont parfaitement agencés en vue de l'ajustage du niveau d'eau et ne demandent cet ajustage, à ce qu'on dit, qu'une fois par an. Il est d'autres manufacturiers qui atteignent le même résultat par des voies différentes.

Le compensateur de MM. Gauders et Dunaven, de Dublin, arrive à ce but au moyen d'un flotteur condensateur indépendant qui ne gêne en rien le mécanisme de l'appareil.

Parmi les articles exposés par la Compagnie des gazomètres de Londres, Oldham et Dublin, il y a un générateur de pression dans lequel un ressort, ou un poids, ainsi que pour un mouvement d'horlogerie, vient accroître la pression, ce qui est surtout à désirer dans certains cas où la pression du dehors n'est pas suffisante. Le premier gazomètre, auquel est attaché le mouvement, envoie le gaz dans un gazomètre allégé à 10 centimètres, et de ce gazomètre le gaz passe dans un gazomètre sec de même pression et puis dans un gazomètre humide à 5, de niveau variable.

La plupart des gazomètres anglais sont faits actuellement avec une enveloppe de fonte, au lieu d'étain. Il y a à l'Exposition plusieurs grands gazomètres de stations qui ont été construits avec le plus grand soin ; mais dans tous ces gazomètres rien n'est assez nouveau pour mériter une mention spéciale.

§ 10. — Becs à gaz.

Comme le fait de tout gaz de houille est d'être consommé dans un but d'éclairage ou de chauffage, l'obtention de la plus grande somme de lumière possible d'une quantité de gaz donnée n'entre qu'en seconde ligne dans l'économie de sa production. Toutefois, bien que ce sujet soit l'objet d'une attention continuelle, il y a eu peu de progrès à enregistrer dans ces dernières années. Cela provient de ce que les circonstances dans lesquelles a lieu la combustion du gaz sont si variables qu'une règle unique ne saurait être appliquée à tous les

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

cas, en ce qui regarde la pression dans les usines, et que dans la conduite principale il existe des quantités variables irrégulières, et de même des différences dans les divers étages du même bâtiment, et autres causes encore bien connues.

Le seul moyen à l'aide duquel on puisse constater qu'un bec se règlera aux différences de pression, c'est l'emploi d'un diaphragme mobile et d'une soupape conique, telle que celle qui est appliquée sur le régulateur dans les usines à gaz. MM. Sugy, de Londres, et d'autres encore dans divers pays et à des époques différentes, ont adopté ce principe, et le réglage Sugy est appliqué à la plupart des lampadaires de Londres. Il est toutefois bien loin d'être parfait, ce qui provient nécessairement de la diminution des ajustages régulateurs.

Il y a certains réglages qui peuvent être très-avantageusement appliqués à la conduite du gaz, celui-ci entrant dans le bâtiment préalablement à la distribution. L'un de ces réglages, exposé par M. Henri Giroud, mérite d'attirer particulièrement l'attention, mais il est loin de répondre à tous les besoins. Toutefois, avec la surveillance momentanée d'une personne initiée à l'industrie, une certaine somme de gaz pourra être économisée au profit du consommateur. Le même inventeur a exposé ce qu'il appelle un régulateur télégraphique, mais qui peut être attaché aux tuyaux principaux de conduite, en toute période de leur distribution, et par un système de tuyaux électriques de rappel et de mouvements d'horlogerie, ces irrégularités sont rendues sensibles au régulateur de l'usine qui ouvre et ferme la soupape du régulateur principal, et établit l'équilibre voulu entre la pression à l'usine et la pression dans les tuyaux de conduite principaux. Mais une description complète de cet appareil exigerait plusieurs dessins et plus de détails que n'en peut admettre le cadre qui nous est tracé. Ce système de réglage a été mis en pratique dans diverses localités, et l'on en est satisfait.

En somme, un peu d'attention apportée aux robinets une ou deux fois dans la soirée sera le plus simple et le plus

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

économique moyen de régler la consommation particulière du gaz; mais cette méthode ne saurait naturellement être appliquée à l'éclairage public. Il reste donc beaucoup à faire pour trouver un bon système de réglage applicable à chaque lampadaire, et qui soit juste au-dessous du bec ou à la base de la lampe.

La forme du jet par lequel s'échappe le gaz avant son ignition est de la dernière importance pour produire le meilleur effet.

Les formes qui sont le plus en usage sont : le bec Manchester, avec deux ouvertures obliques, et le bec d'Argand, ou bec à double courant d'air. Les seules expériences dont le résultat se voie à l'Exposition sont celles de MM. Audouin et Bérard. Les premières, qui s'appliquent aux fabriques parisiennes, ont été conduites avec la plus grande habileté.

Il importe de donner avec quelques détails les résultats de ces expériences, au point de vue surtout de l'éclairage public. Nous ne mentionnerons pas les expériences préliminaires ayant trait au mode d'expérimentation ou à l'arrangement photométrique. Le bec de lampe Carcel, brûlant 42 grammes d'huile par heure, sera le terme de comparaison; d'après les termes de l'arrangement entre la Cité de Londres et la Compagnie du gaz, 25 à 27 litres et demi de gaz, sous une pression de deux à trois millimètres d'eau, doivent fournir une lumière égale à celle d'une lampe Carcel brûlant dans le même temps dix grammes d'huile de colza épurée.

La première série d'expériences fut faite avec le bec papillon à extrémité arrondie, rattaché à la partie principale du bec par un petit collet à large section. On a fait une variété de ces becs qui diffère quant au diamètre du bouton et à la largeur de la fente, et voici les résultats qu'ont donnés les expériences faites :

1° L'effet d'éclairage maximum correspond à une fente de 7/10 de millimètre.

2° En comparant un bec de 1/10 de millimètre avec un de 7/10 pour la même quantité de gaz, le dernier a donné un

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

éclairage plus que quadruple de celui du premier; la même quantité de gaz peut donc donner, brûlant dans un bon bec, quatre fois plus de lumière que brûlant dans un mauvais.

3° L'intensité croît plus rapidement que l'augmentation de largeur de la fente.

4° L'accroissement du pouvoir éclairant correspond à une très-rapide diminution de pression et conséquemment à une diminution de l'écoulement du gaz durant la combustion ; en outre, pour chaque série de becs soumis à l'expérimentation, le maximum correspond à un flux qui se mesure par une pression de deux à trois millimètres.

Les expérimentations relatives aux dimensions des boutons de l'extrémité des becs ont démontré qu'à mesure que ces dimensions allaient grandissant, la flamme devenait plus instable et avait une tendance à donner de la fumée; que, pour chaque consommation de gaz donnée, il y avait un bouton d'un diamètre donné qui produisait le meilleur effet en employant une fente de 7/10 de millimètre. Le diamètre du bouton usité à Paris pour la fente susmentionnée est de 7 millimètres.

Bien que les résultats donnés par les essais aient amené l'emploi de becs papillons, il ne sera pas hors de propos de constater les résultats obtenus par MM. Audouin et Bérard, avec d'autres systèmes de becs. En ce qui concerne les premiers, ou le bec Manchester, il a été démontré que la combustion doit s'effectuer sous une pression d'au moins 3 millimètres, sinon les deux jets de gaz ne se rencontrent pas avec une force suffisante pour épandre la flamme. Le diamètre des trous qui donne le maximum d'effet éclairant est compris entre 1 7/10 et 2 millimètres; mais, pour des trous de cette dimension, il faut consumer environ 200 litres de gaz.

Pour une combustion de 100 à 150 litres de gaz par heure, le diamètre des trous doit être d'un millimètre et demi. Le

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

bec d'Argand, qui consiste en un petit anneau circulaire percé de petits trous, est fort en usage dans la consommation privée, à Paris surtout, et l'étude de ce bec a été d'un puissant intérêt : le résultat des expériences a été que les différences d'intensité sont dues, 1° au diamètre des trous; 2° au nombre de ces trous; 3° à la distribution de l'air; 4° à la hauteur de la cheminée et du verre. En ce qui regarde la dimension des trous, un diamètre de 4/10 de millimètre a paru être le meilleur; quant au nombre des trous, il a semblé avantageux d'en percer un grand nombre; 30 par exemple ont été considérés comme un nombre suffisant, une faible pression produisant le même effet avec la même quantité de gaz. L'emploi d'un cône pour concentrer l'air sur la flamme est utile, et la meilleure hauteur à donner au verre s'est trouvée être 20 centimètres. L'effet éclairant croît d'une manière indéfinie avec la quantité de gaz consumé et peut même monter au point de faire dépasser le verre par la flamme, point auquel tout autre accroissement devient impraticable. Toutes ces données relativement à ce bec ont rapport à l'égalisation de l'effet éclairant d'une lampe Carcel brûlant par heure 42 grammes d'huile.

Les mêmes expériences ont démontré que, quand on veut éclairer un grand espace, il est mieux d'accroître la dimension du bec, attendu que, par ce moyen, l'effet maximum s'obtient d'une quantité de gaz donnée. C'est un bec papillon avec un diamètre de bouton de 15 millimètres et une fente de 6/10 de millimètre.

§ 11. — Matières pour bouts de becs.

Ils sont faits ou de métal ou de terre ; comme métaux, on emploie le fer, le bronze et diverses compositions ; les matières argileuses sont : la lave, la porcelaine, la pierre de savon et des composés analogues. Sous ce titre, il n'y a aucune nouveauté à consigner dans ce rapport; toutefois de grands

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

progrès ont été faits dans la fabrication desdites substances argileuses; et ces becs sont vraisemblablement appelés à remplacer jusqu'à un certain point les becs de métal, par cette raison que les petites ouvertures ne sont pas susceptibles d'être bouchées par l'action de l'air, comme dans les becs métalliques.

§ 12. — Applications indirectes du gaz.

Dans différentes sections de l'Exposition, on peut voir divers emplois auxquels s'applique le gaz en dehors de l'éclairage. MM. Lenoir, Hugon, Otto et Larigon ont développé son emploi comme force motrice par l'ignition dans des cylindres d'un mélange d'air et de gaz; de même, pour les usages domestiques culinaires, il a reçu une application particulière qui peut s'étendre très-économiquement.

On peut voir des calorifères de toute grandeur et de divers modèles surtout dans les sections anglaise et française. L'application de ce mode de chauffage se fait encore en grand dans la métallurgie pour les soudages, ainsi que dans diverses autres industries qui exigent une chaleur convenablement réglée et une source intermittente de chaleur. Les chimistes, surtout dans leurs travaux d'analyse et de recherches, emploient le gaz de préférence à toute autre source de chaleur, et l'on peut voir dans les sections allemande, française et anglaise une grande variété d'arrangements aussi convenables qu'ingénieux, mais, à proprement parler, il n'y a réellement pas de forme nouvelle d'appareils qui mérite une mention spéciale. Une étude sur l'application du gaz comme force motrice trouvera certainement place dans quelque autre partie du présent rapport.

§ 13. — Fabriques de gaz portatif.

Plusieurs spécimens ont été exposés, mais aucun ne se distingue par la nouveauté. MM. L. Coignard et C^ie^ ont exposé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de petits spécimens de fabriques à gaz, sur le modèle de M. Z. Jouanne, se prêtant à l'emploi de toutes les substances propres à fournir du gaz d'éclairage. Dans la section anglaise, on voit divers modèles compactes et économiques de deux ou trois fabricants. M. Georges Power en a exposé qui alimentent 6 à 8 becs pendant quatre heures et qui coûtent 550 fr.

En parlant de gaz portatif, nous ne devons pas négliger de mentionner celui de Paris, qui est fort estimé, surtout depuis qu'il est placé sous la direction de M. Hugon.

§ 14. — Quelques formes d'éclairage par le gaz.

Pendant bien des années, on a imaginé d'imprégner l'air de la vapeur d'hydrocarbures légers et d'enflammer cette vapeur ainsi en suspension, à son passage dans des becs analogues à ceux employés pour le gaz ordinaire. Dans certaines circonstances, de bons résultats en ont été retirés; mais les variations de la température nuisent à la régularité de la lumière, et, dans les localités où il existe des usines à gaz publiques, cette forme d'éclairage ne saurait être goûtée, lors même qu'il serait démontré que la consommation de cette matière éclairante est d'un prix moins élevé que celui du gaz ordinaire livré au public, car diverses manipulations deviennent nécessaires, lesquelles sont impossibles à effectuer dans les maisons particulières.

§ 15. — Partie chimique de la fabrication du gaz.

Il sera fait un rapport spécial à ce sujet sur la section 44, classe 5, et les progrès faits dans cette partie méritent bien une mention particulière, non-seulement en ce qui concerne la fabrication et l'épuration du gaz, mais encore l'utilisation des produits dits déchets.

Mon compte rendu portera simplement sur les opérations des usines à gaz parisiennes. Il n'y aura donc aucune injustice envers les autres fabriques, car aucune d'elle ne sait tirer parti des résidus d'une manière si parfaite.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le coke produit en 1844 par la Compagnie de Paris se monta à 7,949,955 hectolitres, dont une partie fut consommée dans l'usine et le reste vendu au public. Pour faciliter la vente du coke, la Compagnie fabriqua des poêles spécialement propres au chauffage par le coke, et ces poêles furent vendus au public à des prix très-modérés; le chauffage par le coke offrit tant d'avantages que depuis le 1er janvier 1858 jusqu'au 28 février 1867, la Compagnie du gaz parisien vendit à des individus seulement 16,909 de ces poêles. La quantité de goudron résultant de la distillation du charbon se montait, l'an dernier, à 22 millions de kilogrammes.

Pour faciliter la vente de ce produit, la Compagnie fut obligée d'en distiller une grande partie; de ces 22 millions de kilogrammes, produits en 1866, 20 millions furent distillés et donnèrent 13 millions de kilogrammes de poix, au prix de 7 à 10 francs par 100 kilogrammes, ce produit étant employé à fabriquer du combustible breveté et de l'asphalte artificielle. On obtint, en outre, 500,000 kilogrammes d'huiles légères et 4 millions de kilogrammes d'huiles lourdes. Les premières furent vendues comme benzines pour le dégraissage des étoffes, pour la peinture et dans les fabriques de caoutchouc, ou bien elles furent converties en nitrobenzine ou en aniline. La production de nitrobenzine se monta à 133,000 kilogrammes, et celle de l'aniline à 600 kilogrammes.

Quant aux huiles lourdes (créosote), elles furent vendues aux négociants en bois et presque entièrement employées à imprégner les traverses de chemins de fer. Une certaine quantité de ces huiles lourdes a été épurée et utilisée pour la lubrification et la peinture ordinaire. Les huiles de goudron donnent toujours une appréciable quantité d'acide phénique, qui, à l'état liquide, sert à la désinfection, et, à l'état cristallisé, à faire de l'acide picrique, utilisé en médecine.

L'épuration du gaz a produit l'an dernier environ 3 millions de kilogrammes de produits ammoniacaux, soit à l'état solide de sulfate d'ammoniaque, soit en alcali volatil. Une certaine

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

quantité de sulfo-cyanure d'ammoniaque a été aussi retirée des produits de la condensation du gaz. Les matières de déchet utilisées dans l'épuration du gaz ont été acquises par les fabriques de bleu de Prusse; mais comme ces résidus ne contiennent pas seulement des sulfo-cyanures et des cyanogènes, mais aussi une quantité considérable de soufre à l'état libre, la Compagnie, avec un procédé de traitement spécial, en a obtenu une matière qui contient de 55 à 60 pour 100 de soufre que l'on peut employer, soit dans les fabriques, soit dans l'agriculture. On comprend, d'après ces résultats, que la Compagnie a fait tourner à son avantage tous les résidus de la distillation de la houille. Les gaz de ces compagnies sont parfaitement épurés, et les négociants en soieries et autres tissus délicats qui, il y a quelques années, avaient tant à souffrir des effets de la combustion des gaz impurs, dont l'effet agissait sur les tissus de leurs fabriques, n'ont plus maintenant à subir de détriment pour cette cause.

L'épuration des gaz de cette Compagnie ainsi que de la plupart des grands établissements européens, se fait par l'oxyde de fer, qui, bien qu'un peu plus coûteux que la chaux, a l'avantage d'être facilement revivifié pour des usages réitérés, et empêche l'accumulation du plus désagréable des résidus, la *chaux de gaz* (*gaz lime*). Nos observations, toutefois, nous mènent à croire qu'il conviendrait que l'épuration par l'oxyde de fer fût aidée par le procédé de la chaux humide.

Nous pourrions nous étendre un peu plus longuement sur la condition actuelle et sur les besoins présents de la fabrication du gaz; mais nous ne saurions le faire sans excéder les limites de ce rapport.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 52

MOTEURS, GÉNÉRATEURS ET APPAREILS MÉCANIQUES SPÉCIALEMENT ADAPTÉS AUX BESOINS DE L'EXPOSITION

SOMMAIRE :

Section I. — Service mécanique et service hydraulique, par M. JACQMIN, ingénieur des Ponts et Chaussées, professeur à l'École des Ponts et Chaussées, directeur de l'exploitation du chemin de fer de l'Est, et M. CHEYSSON, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Section II. — Manutention et appareils de levage employés au chargement et au déchargement des colis, par M. E. HANGARD, ingénieur des Arts et Manufactures.

Section III. — Distribution du gaz au Palais et dans le Parc du Champ-de-Mars, par M. GUÉRARD, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Section IV. — Ventilation du Palais, par M. le vicomte D'USSEL, ingénieur des Ponts et Chaussées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 52

MOTEURS, GÉNÉRATEURS ET APPAREILS MÉCANIQUES SPÉCIALEMENT ADAPTÉS AUX BESOINS DE L'EXPOSITION

—

SECTION I

—

SERVICE MÉCANIQUE ET SERVICE HYDRAULIQUE

PAR MM. JACQMIN ET CHEYSSON.

—

Caractère spécial de la classe 52.

Une Exposition universelle a pour but immédiat la réunion dans une même enceinte des mille produits de l'art et de l'industrie, dont le rapprochement, fécondé par l'étude, contribue aux progrès de la civilisation. Mais, pour atteindre ce but, l'organisateur rencontre des difficultés sans nombre et se trouve d'abord en présence de certains besoins généraux auxquels il est impérieusement tenu de satisfaire, sous peine de voir son œuvre compromise, besoins qui naissent de la vaste agglomération d'hommes et de choses appelés sur un même point.

Plusieurs de ces besoins relèvent plus spécialement de la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

science de l'ingénieur. Ce sont d'abord ceux qui s'imposent aux municipalités, soucieuses de donner à leurs administrés les bienfaits d'une large distribution d'eau, d'une canalisation d'égouts, d'un éclairage public. Viennent ensuite ceux qui sont plus particuliers à une Exposition et qui concernent la manutention des produits exposés, la mise en mouvement des machines et l'assainissement de l'air du Palais.

Pour l'Exposition universelle de 1867, et d'après les bases sur lesquelles elle était constituée, ces divers besoins se résumaient dans les données suivantes :

Il s'agissait de distribuer l'eau et le gaz nécessaires à une ville de 100,000 âmes et de drainer un palais de 15 hectares, un parc de 30 hectares. Les produits exposés, pesant ensemble plus de 20,000 tonnes, et dont quelques-uns étaient d'un poids individuel considérable, devaient arriver dans un espace de temps très-court, quelques jours avant l'ouverture. Il fallait organiser des moyens de transport et de manutention assez puissants pour avoir mis ces objets en place au jour dit, sans encombrement ni désordre. La Commission Impériale avait pris, en outre, l'engagement de fournir gratuitement la force motrice à toutes les machines qui en exigeraient l'emploi pour leur fonctionnement. C'était, de ce chef, une force d'au moins 600 chevaux que l'on avait à distribuer dans la galerie des machines, sur un développement de 1,200 mètres et une superficie de 4 hectares. Enfin il était à craindre que l'air du Palais, vicié par des causes nombreuses, ne fût insuffisamment renouvelé par l'appel naturel. On devait donc pourvoir à la salubrité de l'atmosphère par une ventilation artificielle lançant par heure un volume de plusieurs centaines de mille mètres cubes.

Ainsi, distribution d'eau et de gaz suffisante pour une ville de 100,000 âmes ; manutention d'une gare très-fréquentée ; mise en mouvement d'une usine de 600 chevaux et de 4 hectares ; ventilation d'une salle de 15 hectares et pouvant contenir 100,000 spectateurs, autant de problèmes qui em-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pruntaient à leurs données mêmes une grande importance, et dont la solution, étroitement liée au succès de l'œuvre, devait être improvisée dans un temps très-court.

Pour les résoudre, la Commission Impériale aurait pu, suivant le mode usité dans les Expositions antérieures, se charger elle-même directement de ces divers services, et y faire face à l'aide de la régie ou de l'entreprise, par ses propres agents ou ses entrepreneurs. Elle a mieux aimé tirer la solution de son œuvre même, et transformer ces services en occasion de concours, en les confiant à forfait à des exposants, qu'elle associait ainsi à ses travaux. Ces coopérateurs ont eu la plus grande liberté pour toutes les dispositions de détail, à la condition de se conformer aux données d'un programme fourni par la Commission Impériale; de sorte que le succès de ces services leur revient dans une certaine mesure.

Cet appel à l'initiative privée, toujours plus féconde et plus originale en ces matières que l'action administrative; cette excitation salutaire de la concurrence entre les divers constructeurs attachés au même service et luttant entre eux de zèle et de perfection, pour conquérir les récompenses que décernent aux plus méritants l'opinion publique et le Jury; cette association de nombreux collaborateurs intéressés à la réussite de l'œuvre commune, et y travaillant de toutes leurs forces; en un mot, cette combinaison, qui a réduit le rôle de la Commission Impériale à la direction et à la coordination des impulsions individuelles, a produit tous les bons résultats qu'on en devait attendre.

Il y a là une expérience significative et qu'il est bon de ne pas laisser passer inaperçue, parce qu'elle consacre une solution susceptible de plus d'une application féconde.

Du moment que tous ces constructeurs d'appareils affectés aux besoins de l'Exposition recevaient le titre d'exposants et concouraient pour les récompenses, il devenait nécessaire de leur assigner, dans le règlement général, une classe particulière. Cette classe a été créée et porte le n° 52. C'est, à vrai dire,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

un démembrement de la classe suivante (n° 53, Mécanique générale). Mais, tandis que la classe 53 comprend les appareils simplement exposés pour eux-mêmes, la classe 52 se compose de ceux qui rendent un service à l'Exposition. De cette distinction dérivent, pour les rapports concernant ces deux classes, d'importantes différences dans le point de vue. La classe 53 envisage les objets dans leur valeur intrinsèque et mécanique, analyse leurs organes, leurs perfectionnements, leur supériorité relative. Pour la classe 52, au contraire, nous avons été conduits à renoncer presque complétement au cadre adopté dans les autres travaux du Jury, et, nous référant, pour l'appréciation technique des appareils, au rapport de la classe 53, nous avons dû surtout nous préoccuper de leur adaptation aux besoins de l'Exposition, et faire également une assez grande place à l'exposé de l'organisation des services, puisqu'ils constituent à vrai dire la raison d'être de la classe 52.

Après ces explications, destinées à préciser le point de vue auquel nous nous sommes placés en rédigeant ce Rapport, nous pouvons aborder notre sujet, c'est-à-dire le service mécanique et le service hydraulique. Quant à l'éclairage au gaz, à la manutention et à la ventilation, ils font l'objet de rapports spéciaux, et nous ne les avons mentionnés dans notre Exposé que pour signaler tout ce qui entre dans le cadre de la classe 52.

CHAPITRE I.

SERVICE MÉCANIQUE.

§ 1. — Précédents du service mécanique.

Importance de la mise en mouvement des appareils exposés. — Il est à peu près impossible à la presque totalité des visi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

teurs de comprendre l'usage auquel est destinée une machine qui reste immobile. Les hommes spéciaux eux-mêmes ne peuvent se rendre un compte exact de la valeur d'organes qu'ils ne voient pas fonctionner, et, dans les anciennes Expositions, les galeries qui renfermaient les machines n'attiraient qu'un bien petit nombre de personnes.

Les sacrifices souvent considérables faits par les exposants demeuraient ainsi à peu près stériles ; le public prenait peu d'intérêt à des appareils dont le but lui échappait presque complétement, et ne pouvait se faire qu'une idée très-imparfaite du rôle considérable que les machines remplissent dans le travail moderne.

La Commission de l'Exposition de 1855 a réalisé, à cet égard, un grand progrès, et tout le monde se rappelle l'accueil fait par les visiteurs à la longue galerie annexe, construite le long de la Seine. Pour la première fois, le public de l'Exposition entrait librement dans un grand atelier en activité, et les visiteurs se pressaient autour des appareils à l'aide desquels l'homme assouplit et transforme les matières qui semblent les plus rebelles.

Système suivi en 1855.— Le système adopté en 1855 présentait toutefois un inconvénient sérieux. En réunissant dans une seule et même galerie tous les appareils qui devaient fonctionner sous les yeux du public, on renonçait à tout classement méthodique, puisqu'une même industrie avait à la fois des machines dans le palais des Champs-Élysées et dans la galerie annexe, on ne pouvait étudier les unes et les autres sans de constants déplacements, aussi préjudiciables à la rapidité qu'à la sûreté de l'examen.

Le service mécanique de 1855 comprenait huit générateurs, d'une force nominale de 350 chevaux, et distribuant la vapeur aux machines motrices par une canalisation souterraine de plusieurs centaines de mètres de longueur.

La transmission aérienne recevant les poulies qui donnaient

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le mouvement aux appareils exposés était formée d'un arbre unique, élevé de 5 mètres au-dessus du sol, long de 480 mètres, et placé au centre de la galerie. Ses supports étaient espacés de 8 mètres, et soutenaient en outre, à 6 mètres au-dessus du sol, une passerelle de service de 0^m80 de largeur.

Toutes ces dispositions ne furent pas également heureuses. Sur plusieurs points, les exposants ne purent pas obtenir toute la force dont ils avaient besoin, et d'assez vives réclamations furent adressées à ce sujet à la Commission. Malgré ces imperfections, on peut dire que la galerie des machines de 1855 eut un grand et légitime succès.

Système suivi en 1862. — La Commission anglaise prit, en 1862, des dispositions analogues à celles qui avaient été adoptées à Paris en 1855. Six générateurs à foyer intérieur, réunis dans un bâtiment spécial, envoyaient la vapeur dans une conduite souterraine, circulant sous le plancher de la galerie, et fournissant à chaque appareil, à l'aide d'une prise spéciale, la vapeur dont il avait besoin. Malgré les enveloppes de feutre qui protégeaient les tuyaux de distribution, la longueur de ces tuyaux était trop grande pour qu'on pût prévenir, surtout vers leurs extrémités, de notables pertes de pression et d'abondantes condensations.

Dans tous les cas, on pouvait faire à l'Exposition anglaise le reproche encouru par l'Exposition française : le classement général était abandonné ; les machines les plus dissemblables, par cela seul qu'elles marchaient, étaient réunies dans une même galerie, et le classement était sacrifié aux exigences impérieuses du moteur.

§ 2. — Études préalables à l'organisation du service mécanique de 1867.

Dispositions du règlement général. — La question de savoir si les appareils exposés seraient mis en activité ne pouvait

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

plus être discutée, et la Commission Impériale prit immédiatement, à cet égard, les engagements les plus précis. Les articles 36 et 46 du règlement général sont en effet conçus de la manière suivante :

« ART. 36. — Les constructeurs d'appareils exigeant l'em-
« ploi du gaz et de la vapeur doivent déclarer, en faisant
« leur demande d'admission, la quantité d'eau, de gaz ou de
« vapeur qui leur est nécessaire. Ceux qui veulent mettre des
« machines en mouvement indiqueront quelle sera la vitesse
« propre de chacune de ces machines et la force motrice dont
« elle aura besoin. »

« ART. 46. — La Commission Impériale fournit gratuitement
« l'eau, le gaz, la vapeur et la force motrice pour les machines
« qui ont donné lieu à la déclaration mentionnée à l'article 36.
« Cette force est en général transmise par un arbre de couche
« dont la Commission Impériale fera connaître, avant le
« 31 décembre 1865, le diamètre et le nombre de tours par
« minute.

« Les exposants ont a fournir la poulie sur l'arbre de couche,
« les poulies conductrices, l'arbre de transmission intermé-
« diaire destiné à régler la vitesse propre de l'appareil, ainsi
« que les courroies nécessaires à chacune de ces transmis-
« sions. »

Constitution d'une première Commission. — Les promesses les plus larges, on le voit, étaient faites aux exposants, et la Commission Impériale assumait ainsi une grande responsabilité. Un des premiers soins de M. le Commissaire Général fut de constituer une commission d'ingénieurs, à laquelle il demanda d'examiner quel système il y avait lieu d'adopter, pour donner satisfaction aux engagements contractés, en considérant comme hors de discussion les conditions ci-après :

Maintien absolu du classement méthodique ;

Adoption de la forme curviligne pour la galerie des machines ;

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Interdiction de placer des foyers dans l'intérieur du Palais.

La Commission, composée de MM. Combes, Flachat, Bourdon, Maniel, Lechâtelier, J. Callon, Mangon, Jacqmin et Cheysson, consacra plusieurs séances à l'examen du programme qui lui avait été indiqué par M. le Commissaire Général. Après un examen approfondi, l'emploi de l'air comprimé ou de l'eau comprimée fut écarté et l'emploi de la vapeur reconnu comme seul capable de donner au service mécanique de l'Exposition une complète sécurité. Nous rappellerons très-sommairement les questions qui furent successivement abordées, soit par les membres de la Commission, soit par les ingénieurs dont elle crut devoir réclamer le concours.

Emploi de l'air comprimé. — L'air comprimé semblait au premier abord répondre à toutes les conditions du problème. On pouvait, en effet, avec des machines placées loin du Palais, amener l'air à une pression convenable, le répartir ensuite à l'aide d'une canalisation pour laquelle la forme curviligne du Palais ne présentait aucun obstacle, et distribuer ainsi à chaque appareil exposé, à la place même que le classement général lui assignait, la force qui lui était nécessaire; enfin l'air comprimé, à sa sortie de chaque appareil, contribuait à la ventilation du palais, en abaissant en même temps la température des galeries.

Au premier abord, la solution était donc séduisante. Malheureusement elle rencontrait de grandes difficultés : la première consistait dans la production même de l'énorme quantité d'air comprimé nécessaire à l'ensemble des services de l'Exposition, qui réclamaient une force de plus de 600 chevaux de 75 kilogrammètres. MM. les ingénieurs italiens chargés du percement du mont Cenis voulurent bien signaler à la Commission les différences considérables qui existaient entre la puissance des machines employées à la compression de l'air et le travail recueilli; les ingénieurs de l'établissement de Seraing confirmèrent ces déclarations, et, dans le projet qu'il

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dressèrent d'un ensemble de machines destinées à fournir le volume d'air nécessaire, ils arrivèrent à un chiffre de dépense très-supérieur à la somme dont la Commission impériale pouvait disposer pour ce service.

En second lieu, en supposant la première question résolue, on exprima la crainte que les appareils moteurs construits par les exposants pour marcher à l'aide de la vapeur d'eau, se prêtassent mal à la substitution de l'air comprimé; il ne fallait plus songer à la condensation, et l'on pouvait douter que l'air comprimé donnât, pour les surfaces frottantes, une lubréfaction analogue à celle que produit la vapeur d'eau.

Enfin, et cette objection était la plus sérieuse, convenait-il de faire dépendre tout le service mécanique de l'Exposition d'un seul moteur? Le moindre incident survenu dans la marche de ce moteur déterminant l'arrêt de tous les appareils exposés, un accident sérieux aurait entraîné une grave perturbation.

Emploi de l'eau comprimée. — L'eau présentait à un plus haut degré peut-être les inconvénients signalés pour l'air comprimé. Celle qu'on aurait empruntée aux canalisations de la ville de Paris, en supposant que l'on pût en disposer, n'avait pas une pression suffisante. Il fallait recourir aux accumulateurs, et, par suite, à une immense installation; la force à l'intérieur du palais ne pouvait être transmise que par des appareils spéciaux très-dispendieux à acquérir et sans emploi après l'Exposition; enfin, la rupture de conduites d'eau à haute pression placées en tout sens dans l'intérieur du palais eût donné lieu à de graves accidents.

Tous ces motifs firent écarter l'application de l'air ou d l'eau comprimée, et, dès lors, il ne restait que la vapeur d'eau comme base du service mécanique.

Emploi de la vapeur d'eau. — La vapeur d'eau avait d'abord un avantage incontestable. Son emploi ne comportait aucune incertitude, et on était sûr de n'avoir aucun mécompte

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dans la production de la force et dans sa distribution à tous les appareils qui devaient la consommer. Restaient à résoudre les questions relatives aux chances d'incendie que présentent les machines à vapeur et à la transmission de la force.

Une première solution fut indiquée à la Commission. Elle consistait à placer aux angles du Champ de Mars quatre machines à vapeur de 150 à 200 chevaux chacune, dont la force eût été transmise aux arbres intérieurs de l'Exposition par les câbles télodynamiques de M. Hirn, si usités en Allemagne. Mais cette solution ne put résister à un sérieux examen. Outre qu'elle aurait trouvé dans la forme curviligne du palais de très-sérieuses difficultés, elle se heurtait encore, quoique à un moindre degré, contre l'objection faite à un moteur unique. L'interruption dans la marche d'un seul moteur aurait privé de mouvement un quart de l'Exposition, et la rupture d'un câble télodynamique aurait pu produire de grands malheurs.

La combinaison définitive qui a prévalu a été de multiplier machines et générateurs, en distribuant neuf groupes de chaudières autour du palais, à 30 mètres au moins de distance de son enceinte extérieure, et en répartissant dans la grande galerie 17 moteurs reliés aux générateurs par des conduites d'une longueur maxima de 100 mètres. On évitait ainsi les inconvénients de condensation et de perte de pression; on conjurait les chances d'incendie par l'éloignement des foyers, et celles d'interruption du service par son fractionnement même. En outre, la multiplicité des moteurs à l'intérieur se prêtait parfaitement au maintien du classement méthodique; elle diminuait en même temps les obstacles que la forme curviligne du bâtiment présentait à l'installation de longues transmissions.

Enfin, la présence des moteurs à l'intérieur augmentait beaucoup l'intérêt offert aux études des visiteurs; la grande galerie se trouvait ainsi transformée en une succession d'ateliers pour chacun desquels le public pouvait suivre la production de la force dans un générateur, sa transmission dans une machine motrice et sa répartition dans les appareils exposés.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces notions élémentaires, et cependant si peu connues, s'affirmaient, pour ainsi dire, à l'œil de chaque visiteur, et l'éducation industrielle de tous les pays ne pouvait que gagner à l'ensemble de ces démonstrations.

Accueilli dans toutes ses parties par la Commission Impériale, le programme que nous venons de tracer fut repris et développé par le comité d'admission de la classe 52.

§ 3. — Organisation du service mécanique.

Constitution du comité d'admission de la classe 52. — Le comité d'admission de la classe 52 fut, comme la Commission de 1863, uniquement composé d'ingénieurs, MM. Ch. Callon, Cheysson, Fessard, Fourneyron, Jacqmin, Mantion et Phillips. Les deux rédacteurs du présent Rapport eurent l'honneur d'être, l'un président et l'autre secrétaire de ce comité, dont la tâche différait essentiellement de celle donnée aux autres comités d'admission, en ce qu'elle comprenait, outre l'examen des demandes faites par les exposants, l'étude des propositions à soumettre à la Commission Impériale pour l'organisation des services rentrant dans la classe 52. M. Cheysson a de plus, été chargé, comme chef de service du sixième groupe (classes 47-66) près la Commission Impériale, de présider à cette organisation ainsi qu'à l'installation de la galerie des machines et du service hydraulique, et a fait exécuter, à ce titre, les divers projets ressortissant de la classe 52 (plateforme centrale (1), aménagement de la berge et des prises d'eau, réservoir Malakoff, chemin de fer, etc.).

Division du service en lots. — Nous avons dit que la conservation du classement méthodique des produits était une des conditions essentielles de l'organisation du service mécanique; mais le problème se compliquait encore d'une circonstance

(1) Il est juste d'indiquer ici la part qui revient dans l'étude de ce projet au comité de la classe 52, notamment à l'un de ses membres, M. Mantion, directeur du chemin de fer de Ceinture, et de noter l'utile coopération de M. Hangard, ingénieur des installations.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

particulière : il n'était pas possible de profiter, pour l'installation des moteurs, des deux parties de la galerie tracées en ligne droite, parallèlement au grand axe du palais, c'est-à-dire de celles qui présentaient plus de facilités pour l'établissement de la transmission. Par suite de la forme oblongue du Champ de Mars, les espaces demeurés libres entre le bâtiment et les avenues Labourdonnaye et Suffren étaient trop étroits pour se prêter à la construction d'un bâtiment de chaudières et de sa cheminée, et avaient dû être exclusivement réservés à l'installation des portes Rapp et Suffren ; de sorte que, par une coïncidence fâcheuse, tout ce qui concernait le service mécanique ne pouvait être établi que dans les parties circulaires du bâtiment.

En tenant compte de ces sujétions nouvelles, la partie française a pu être divisée en huit lots, auxquels correspondent les classes ci-après :

1er	lot,	classes	55 et 56,	confié à	MM. Thomas et T. Powell de Rouen et exigeant	60	chevaux.
2e	—	—	—	—	Lecouteux, de Paris.	45	—
3e	—	—	59 et 51,	—	Le Gavrian et fils, de Lille.....	55	—
4e	—	—	51 et 50,	—	Chevalier et Duvergier, de Lyon.....	30	—
5e	—	—	47 et 53,	—	Quillacq, d'Anzin...	30	—
6e	—	—	53 et 54,	—	Renouard de Bussierre et Messmer, de Graffenstaden.....	35	—
7e	—	—	54, 57, 60 et 95	—	Boyer, de Lille.....	30	—
8e	—	—	58, 60 et 95	—	Mme Decoster, de Paris...	30	—

Total de la force dépensée par la section française... 315 chevaux.

Les lots 4, 5 et 6 sont séparés par des zones de calme, affectées aux classes de la carrosserie, des chemins de fer et des travaux publics, qui n'exigent aucune installation de force motrice et répondent à la partie droite ou à ses abords immédiats, comme il est dit plus haut.

Pour les sections étrangères, un lot fut réservé à chaque nation, savoir :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Belgique. — Lot confié à MM. Houget et Teston, de Verviers, et représentant	40	chevaux.
Prusse et États du Nord de l'Allemagne. — Lot confié à MM. Demeuse et Houget, d'Aix-la-Chapelle.	54	—
Bade, Hesse, Wurtemberg et Bavière. — MM. Farcot et ses fils, de Saint-Ouen	30	—
Autriche. — MM. Farcot et ses fils, de Saint-Ouen	20	—
Suisse. — — —	17	—
États-Unis. — M. Flaud, de Paris	50	—
Angleterre. — Commission britannique	100	—
Total pour les sections étrangères	311	—
Total pour la section française	315	—
Total général	626	chevaux.

Outre cette force demandée à la vapeur, on a recouru à l'emploi des moteurs à gaz, dont l'installation est simple et n'entraîne l'établissement d'aucun générateur, pour les parties de la galerie où il suffisait d'une faible puissance dynamique et pour celles où le service était organisé, quand des exigences mécaniques se sont révélées tardivement. C'est ainsi que cinq moteurs d'une puissance totale de 9 chevaux ont été répartis dans la galerie des machines. L'un d'eux, d'une force d'un demi-cheval, faisait mouvoir les modèles de marine ; un autre, de même force, a été disposé à dessein dans les petits ateliers de travail manuel (classe 95), qui sont la véritable place de ces moteurs, et où son emploi peut amener une révolution d'une grande portée sociale en empêchant l'abandon du foyer domestique.

Système général de transmission. — Le règlement de l'Exposition avait disposé d'une manière générale que la force serait transmise par un arbre de couche, mais sans préjuger en rien la disposition de cet arbre. Fallait-il l'établir souterrainement ou le placer sur des colonnes à 4 ou 5 mètres au-dessus du sol ? Cette question fut étudiée avec la plus grande attention et résolue en faveur de la transmission aérienne.

Pour qu'une transmission souterraine pût être adoptée, il eût fallu connaître de la manière la plus précise l'emplace-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment de chaque appareil, afin de ménager dans la voûte ou le plancher de la galerie les espaces nécessaires au passage des courroies; on aurait dû, en outre, s'imposer, une fois ces passages ménagés, l'obligation de ne modifier en rien l'emplacement des machines. A l'époque à laquelle on se trouvait, il était absolument impossible aux constructeurs de renseigner la Commission Impériale sur les dimensions exactes des objets qu'ils comptaient exposer. Il eût été dès lors nécessaire d'attendre le dernier moment pour construire la galerie de la transmission souterraine, ajournement qui eût causé un immense embarras.

En plaçant, au contraire, l'arbre de transmission à l'extérieur, chaque exposant pouvait faire varier la position de sa poulie, quelquefois de plusieurs mètres, et chercher ainsi les combinaisons répondant le mieux aux nécessités de son installation. Dans tous les espaces restés libres en plan, on pouvait installer de nouveaux objets et trouver toujours sur l'arbre la place d'une poulie, tandis qu'avec une transmission souterraine, toutes ces additions eussent été très-difficiles, pour ne pas dire impossibles.

En second lieu, les courroies sortant du sol eussent, dans beaucoup de cas, été une cause de danger pour les promeneurs; tandis que, placées en entier au-dessus du sol, elles pouvaient être facilement évitées. Quant à la sécurité des ouvriers, elle était bien mieux sauvegardée par une transmission aérienne que par une transmission souterraine (1).

Plate-forme centrale. — Enfin, l'établissement d'une transmission aérienne double permettait la construction d'un promenoir central placé à 5 mètres au-dessus du sol et faisant le

(1) On a dû, dans quelques cas particuliers, recourir à une transmission souterraine qui comprend quatre segments et mesure une longueur totale de 71 mètres; ce qui a permis d'apprécier les inconvénients et les dangers du système.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tour de la galerie des machines. Nous n'avons pas à développer les motifs qui militaient en faveur de cette disposition, et il suffit de rappeler l'accueil qui lui a été fait par le public, pour la justifier de la manière la plus complète. En parcourant cette plate-forme, les visiteurs pouvaient jouir du spectacle grandiose de l'activité mécanique s'exerçant sous les formes les plus variées et les plus saisissantes, et suivre le travail des machines sans craindre d'être atteints par aucun de leurs organes.

On a critiqué l'emploi de la fonte dans la construction de la plate-forme, par cette raison qu'au milieu d'une galerie construite entièrement en fer, il eût été préférable de n'employer que ce dernier métal. Nous pensons qu'il n'y avait aucune solidarité à rechercher entre deux choses aussi dissemblables. Les métaux doivent être employés dans les conditions qui répondent le mieux à leur nature et à leur mode de résistance: des colonnes en fer auraient été grêles et d'un maigre aspect; celles de fonte offrent aux yeux plus de vigueur et de résistance, sans compter que, dans une construction où l'on redoutait les vibrations, l'emploi de colonnes massives, et par conséquent en fonte, était naturellement indiqué.

Le promenoir central a une longueur totale de 1,195 mètres, qui se divise ainsi :

Parties servant à la transmission : 413 mètres.

Parties sans transmission : 782 mètres.

Les supports sont espacés de $3^{m}45$ en moyenne, et sont disposés suivant un polygone dont les sommets correspondent aux fermes de la galerie et dont les côtés adjacents mesurent $13^{m}80$ et comprennent entre eux un angle de 5 degrés. Cette longueur de $13^{m}80$ et cet angle de 5 degrés sont les données qui définissent la transmission générale. Les arbres de couche reposent sur les entretoises en fonte, qui sont prolongées, en forme de chaise, au delà des colonnes. Leur longueur totale est de 721 mètres; ce qui donne un total de près de 800 mètres avec la transmission souterraine.

A chaque sommet du polygone, c'est-à-dire de 5 en 5 sup-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ports, les colonnes deviennent doubles dans le cas du promenoir simple. Dans le cas de la transmission, elles sont quadruples et forment comme un beffroi.

L'attache des arbres de couche aux supports du promenoir était de nature à causer à l'ensemble de la construction des trépidations incommodes pour les promeneurs. En vue d'éviter cet inconvénient, on a doublé les supports dans toute les parties qui reçoivent les arbres de couche ; le promenoir repose sur des colonnes placées à l'intérieur du faisceau de colonnes quadruples formant chaque sommet du polygone, et n'a aucun contact avec ces dernières. Sa portée est ainsi de $13^{m}80$, sans appui intermédiaire. L'expérience a consacré entièrement l'avantage de cette disposition, qui réalise une indépendance complète entre le promenoir proprement dit et le système des transmissions.

Les colonnes sont réunies par des poutres en fer à treillis, dans le sens de la longueur de la plate-forme. Pour les parties avec transmission, chaque rive est occupée par deux de ces poutres, disposées parallèlement à quelques centimètres de distance, et se projetant verticalement l'une sur l'autre. La poutre intérieure, de 13^{m} 80 de portée, supporte le promenoir et passe sur les colonnes intermédiaires sans les toucher. Quant à l'autre, elle n'est qu'une sorte de contre-ventement destiné à relier les colonnes de la transmission. Les bases de ces diverses colonnes sont formées par de larges patins rattachés, à l'aide de longs boulons, à des massifs en béton, dont le mortier contient 350 kilogrammes de ciment de Portland par mètre cube. Ces boulons étaient disposés d'avance, d'après un gabarit, et noyés ensuite dans le béton. Pour les colonnes d'angle des parties avec transmission, colonnes composées de deux systèmes de supports, l'un quadruple et l'autre simple, mais pourvus chacun de leur patin de fondation indépendant, le nombre de ces boulons logés dans un même massif est de douze.

Au-dessus de ce premier massif, servant à l'encastrement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des boulons et de leurs plateaux à nervures, est établi un second massif, d'un béton plus maigre, descendant jusqu'au terrain solide, et dont la hauteur a varié de 0m 50 à 3 mètres. Le nombre des piliers ainsi constitués est de près de 700.

Les boulons une fois fixés invariablement, le montage de la plate-forme eût été impossible, si l'on ne s'était pas ménagé un jeu de quelques centimètres, en reportant la pression des boulons sur les patins de fondation, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'une cloche convexe, susceptible d'un léger déplacement.

La plate-forme a 4 mètres de largeur entre garde-corps, et comprend, par chacun des 16 secteurs du palais, deux salons-garages de 4 mètres sur 3 mètres, situés en regard l'un de l'autre et garnis de sofas. Neuf escaliers tournants, de 3m 10 de diamètre, donnent, tous les 150 mètres environ, des moyens d'accès de la galerie au promenoir. En outre, deux escaliers d'honneur, à volée droite, sont disposés de part et d'autre du vestibule principal qui sépare la France de l'Angleterre, et qui constitue la seule interruption de la plate-forme, établie sans discontinuité sur tout le reste du développement de la grande galerie.

Il va d'ailleurs sans dire que, pour ces escaliers et garages, comme pour le promenoir proprement dit, on a dû s'imposer la condition de les rendre tout à fait indépendants de la transmission, ce qui n'a pu parfois s'obtenir qu'au prix de quelques complications.

Le poids du métal entrant dans la construction de la plate-forme est, pour la fonte, de 1,017 tonnes, et pour le fer, de 519 tonnes.

La dépense totale de la plate-forme, en y comprenant plancher, fondations, escaliers et garages, est de 626,216 fr. 98 et ressort à 528 fr. 21 par mètre courant.

Le travail a été divisé en trois lots, et confié aux usines de Marquise, Fourchambault, Mazières, qui ont pris sept mois pour les études de détail et la fabrication, et trois mois pour le mon-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tage, délais assez courts, eu égard au grand nombre de modèles et aux difficultés de l'ajustage.

Marchés de force motrice. — Les diverses questions servant de base à l'organisation du service mécanique une fois résolues, un projet de marché sur lequel nous allons revenir fut soumis à un grand nombre de constructeurs, de manière à appeler la concurrence et à faire entrer dans le domaine de l'Exposition proprement dite la fourniture de la force motrice.

Quand les offres des constructeurs eurent été acceptées par la Commission Impériale, la répartition des lots fut faite de manière à mettre, autant que possible, ces entrepreneurs dans les conditions où les plaçaient leurs relations de clientèle. C'est ainsi que les constructeurs de Rouen et de Lille furent chargés de faire marcher les appareils de filature et de tissage; les constructeurs d'Alsace, les machines-outils, etc.

Pour l'étranger, la Commission Impériale attachait un grand intérêt à ce que la force motrice fût organisée dans chaque section par un exposant de la nation intéressée, de façon à ce que l'entente pût être établie au moment même où chaque Commission étrangère s'occuperait de son plan d'installation. C'était, en outre, donner au service mécanique un caractère international, destiné à rehausser l'intérêt du concours. La Belgique, la Prusse et l'Angleterre acceptèrent avec empressement cette combinaison. Pour l'Autriche, les États de l'Allemagne du Sud, la Suisse et l'Amérique, la Commission Impériale dut recourir à des exposants français. (Voir p. 469 la division en lots.)

Les marchés de force motrice ont tous été faits sur un type uniforme. Cette formule contenant des renseignements détaillés sur l'organisation du service, nous pensons qu'il ne sera pas sans intérêt de la reproduire presque *in extenso*, malgré sa longueur.

Objet du traité. — Article 1^er^. L'entrepreneur soussigné prend l'engagement, qui est accepté par la Commission Impé-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

riale, de fournir la force motrice nécessaire aux appareils exposés dans la portion de la galerie des machines affectée aux classes nos...

Cette portion a une longueur de ... mesurée suivant l'axe de la galerie. Les appareils à faire mouvoir occuperont le massif central de cette galerie, sur 23 mètres de largeur, et recevront leur mouvement de deux arbres de couche, supportés à 4m36 au-dessus du sol, sur les colonnes d'une plate-forme centrale qui sert en même temps à la circulation des visiteurs.

Production de la force. — Art. 2. La force motrice nécessaire à ce service sera produite par la vapeur.

Bâtiment du générateur. — Art. 3. Le bâtiment destiné à abriter le générateur aura les dimensions ci-après :

. . . . . .

Il sera placé parallèlement au chemin rayonnant, et son parement le plus rapproché du palais sera distant de 60 mètres de l'axe de la galerie des machines.

Cheminée. — Art. 4. La cheminée destinée à l'échappement des gaz de la combustion sera placée latéralement au grand côté du bâtiment le plus éloigné du palais. Elle sera en briques et aura une hauteur d'au moins 30 mètres.

Générateur. — Art. 5. Le générateur de vapeur consistera en une chaudière de.... mètres carrés de surface de chauffe. (*Définition de la chaudière.*). . . . . .

Art. 6. Le générateur sera pourvu de tous les appareils de sûreté prescrits par le décret du 28 janvier 1865, dont toutes les prescriptions seront d'ailleurs obligatoires pour M..... Il sera muni, en outre, d'un appareil fumivore au choix de ce constructeur.

En cas d'une production trop abondante de fumée, la Com-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mission impériale se réserve le droit d'imposer à l'entrepreneur soussigné l'emploi exclusif du coke.

Distribution de la vapeur. — Art. 7. La machine motrice étant placée à l'intérieur de la galerie des arts usuels, la vapeur du générateur doit y être conduite par un tuyau placé dans un carneau.

Carneau. — Art. 8. Ce carneau aura, dans œuvre, une hauteur de 1^{m}60 et une largeur de 1 mètre.

Les parois seront en maçonnerie et auront une épaisseur suffisante pour résister à la poussée des terres et supporter les tuyaux qui y seront contenus. Son radier sera également maçonné.

Il sera recouvert par un tablier en bois, formé de madriers simplement jointifs de 7 à 8 centimètres d'épaisseur, et posés transversalement à sa longueur. Ce tablier sera apparent et formera plancher dans la galerie des arts usuels. Dans la traversée du jardin, il sera recouvert d'une couche de terre d'environ 30 centimètres, nécessaire pour la formation d'une pelouse.

Ce carneau vient couper à angle droit la galerie souterraine correspondant à la galerie des aliments. Dans la zone affectée à l'aérage, il est complétement interrompu ; dans celle qui est destinée aux caves, il est isolé des portions voisines par deux cloisons latérales et par une cloison de fond, dans laquelle est pratiquée une porte de communication.

Tuyaux de vapeur. — Art. 9. Les tuyaux de prise de vapeur seront en fonte. Leur assemblage s'effectuera par des joints à brides soigneusement dressés. Ils seront supportés par des crampons scellés dans une des parois du carneau, et analogues à ceux qu'emploie le service municipal de la ville de Paris pour soutenir les conduites d'eau dans les égouts.

Art. 10. M..... est tenu de prendre toutes les précautions

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nécessaires pour prévenir les inconvénients qui pourraient résulter de la condensation de la vapeur ou de la dilatation des tuyaux.

Distribution de la vapeur et écoulement de l'eau de condensation. — Art. 11. La vapeur produite par le générateur est conduite au tiroir de la machine motrice. Après avoir agi sur le piston, elle est condensée et va se perdre avec l'eau de condensation dans la conduite en ciment qui traverse à angle droit le carneau, et qui est établie le long de la paroi extérieure de la galerie des arts usuels pour recevoir les eaux pluviales du palais.

Le tuyau d'amenée de l'eau de condensation est posé dans le carneau à côté de celui de vapeur, et offre une pente calculée en vue du volume qu'il doit débiter.

Fourniture de vapeur à des appareils autres que le moteur. — Art. 12. Dans le cas où il serait nécessaire de fournir de la vapeur à des cylindres sécheurs ou à tout autre appareil faisant partie du secteur confié à M....., cette vapeur y serait conduite à l'aide d'un tuyau en fonte, placé dans une simple gaîne en bois, et entouré de substances non conductrices.

De petits regards seraient ménagés au droit de chaque joint sur cette gaîne, enterrée de 30 à 40 centimètres au-dessous du sol de la galerie.

Art. 13. L'échappement de la vapeur ainsi distribuée aurait lieu à l'aide d'un tuyau également en fonte, qui, dirigé d'abord horizontalement vers le caisson de la galerie des arts usuels le plus voisin de l'appareil alimenté, et du côté intérieur de cette galerie, pénétrerait ensuite dans le caisson, et déboucherait enfin dans l'atmosphère à 20 mètres au-dessus du so de la galerie.

Dans la traversée de la galerie, ce tuyau est contenu dans une gaîne en bois, semblable à celle que décrit l'article précédent. A l'intérieur du caisson, il sera pris pour le soutenir des dispositions qui seront indiquées ultérieurement.

. . . . . .

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Fourniture de l'eau. — Art. 15. L'eau nécessaire à la production de la vapeur sera également fournie gratuitement à M..... par la Commission impériale, à l'aide de deux robinets mis à sa disposition, et dont l'un sera placé près du générateur, et l'autre près du condenseur.

Machine motrice. — Art. 16. Le mouvement sera donné aux arbres de couche par.... (*Définition du moteur*).... La surface occupée par cette machine est égale à .... mètres carrés. Sa forme est définie par le plan ci-annexé, qui contient en même temps les détails de l'installation projetée par M.....

Art. 17. La solidité de l'assiette nécessaire pour un bon fonctionnement du moteur sera obtenue par les dispositions que devra prendre l'entrepreneur soussigné, mais ne pourra être demandée, même dans une faible mesure, à aucune des parties du palais, telles que caissons, parois, toiture ou plate-forme.

Force de la machine. — Art. 18. La machine motrice fournira une force effective d'au moins .... chevaux de soixante-quinze kilogrammètres, mesurée par l'arbre de couche ; la Commission impériale aura le droit de procéder à telles expériences qu'elle jugera convenable, pour constater si cette condition est remplie. Dans le cas où elle ne le serait pas, il pourrait y être suppléé d'office aux frais de l'entrepreneur par telles mesures qu'il appartiendra.

Arbres de couche. — Art. 19. Les arbres de couche sont placés de part et d'autre de la plate-forme centrale, qui est établie par la Commission impériale, ainsi que les consoles de support.

M..... s'engage à fournir et à poser la transmission générale avec ses paliers, ses manchons de jonction et ses embrayages, et, enfin, les poulies nécessaires pour lui donner le mouvement.

Le burinage des portées des consoles, pour un bon règlement des paliers, est également à sa charge.

Art. 20. Ces arbres sont en fer forgé. Ils ont 9 centi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mètres de diamètre, excepté au droit même de l'attaque du volant, où l'arbre extérieur est renforcé pour résister à la flexion. Ils sont calibrés avec beaucoup de soin, tournés et polis dans toute leur étendue. Ils offrent une surface méplate ou une rainure générale qui permet l'ajustage des poulies en un point quelconque de leur longueur.

Leur vitesse est de cent tours par minute. Ils sont formés d'éléments polygonaux ayant une longueur moyenne de $13^{m}792$, et embrassant entre eux un angle de $174^{o}\ 58'\ 51''$.

Attaque des arbres de couche. — Art. 21. Le mouvement du volant se transmet à l'arbre de couche le plus voisin par la disposition figurée au plan ci-annexé.

(*Description succincte de cette disposition*).

Les poulies adoptées seront en deux morceaux.

Art. 22. M.... sera tenu de prendre toutes les précautions nécessaires pour empêcher la flexion de l'arbre de couche, et le déversement de la galerie dans la portion où se fait cette transmission de mouvement.

Art. 23. La rotation de l'arbre extérieur se communique à son conjugué par une poulie correspondant à chacun des éléments du polygone, de sorte que la ligne extérieure étant continue et solidaire, la ligne parallèle intérieure puisse être formée d'éléments brisés et indépendants.

Joints et embrayages. — Art. 24. La jonction de deux éléments contigus s'obtient par... (*Définition du joint.*)

Cette communication peut être interrompue, à chaque joint, par un débrayage à fourchette et levier, figuré, ainsi que le joint lui-même, sur le plan ci-annexé.

Art. 25. M.... sera tenu d'entourer d'une balustrade l'emplacement qui lui est affecté, et de recourir aux précautions d'usage, pour assurer la sécurité tant des visiteurs que de ses ouvriers. Il devra également recouvrir à ses frais cet emplacement d'un plancher soigné.

Calage des poulies. — Art. 26. Les poulies servant à



Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

transmettre le mouvement de l'arbre de couche aux appareils exposés sont fournies par les exposants. Elles sont formées de deux moitiés distinctes, et le montage est à la charge de l'entrepreneur soussigné.

Durée du travail journalier. — Art. 27. La durée du travail journalier est fixée à sept heures et demie, de dix heures du matin à cinq heures et demie du soir, y compris une demi-heure de repos.

Art. 28. La Commission impériale pourra, soit pour les opérations du Jury, soit pour toute autre cause, avancer de deux heures le commencement de la mise en marche de la machine ; mais, dans ce cas, un repos supplémentaire de deux heures sera accordé à l'entrepreneur, la durée totale du travail journalier ne devant pas excéder sept heures et demie.

Art. 29. L'entrepreneur aura droit à un jour de repos par mois, pour les visites, lavages et menues réparations à effectuer, soit au générateur, soit à la machine motrice, soit aux transmissions. Ce jour de repos, quand il ne sera pas motivé par un accident, sera fixé par la Commission impériale, de façon à ce que l'arrêt des machines ne soit pas simultané dans plusieurs sections.

Durée de l'entreprise. — Art. 30. La durée de l'entreprise est celle de l'Exposition elle-même, c'est-à-dire du 1er avril au 31 octobre 1867.

Art. 31. La Commission impériale aura le droit de prolonger ou de diminuer cette durée, sans cependant que l'augmentation ou la diminution puisse excéder cinquante jours. Dans ce cas, il serait ajouté à la somme stipulée ci-dessous, ou il en serait retranché une somme fixe de (1)....., par chaque jour de marche au delà ou en deçà des limites qui viennent d'être fixées.

(1) Cette somme a été, dans chaque traité, calculée sur le prix de 1 fr. 50 par cheval et par jour.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Régularité du mouvement. — Art. 32. La machine motrice sera installée et conduite de telle façon que les exposants retrouvent, pour leurs appareils mis en mouvement par la transmission générale, la régularité d'allure à laquelle ils sont accoutumés dans leurs ateliers.

Entretien et graissage. — Art. 33. L'entrepreneur soussigné est tenu de veiller à l'entretien des appareils qu'il emploie et à leur graissage.

Les dispositions qu'il emploiera à cet effet seront combinées de manière à respecter la sécurité des ouvriers et à recueillir la graisse ou l'huile surabondantes.

Approvisionnement du combustible et enlèvement des cendres. — Art. 34. M..... se conformera aux indications qui lui seront données pour les heures d'entrée de ses voitures destinées à l'approvisionnement du combustible ou à l'enlèvement des cendres.

Caractère des appareils fournis par l'entrepreneur. — Article 35. Le générateur, le moteur et l'ensemble des dispositions adoptées pour produire et transmettre la force motrice nécessaire au secteur seront considérés comme objets exposés, et, comme tels, inscrits au Catalogue, et admis au concours pour l'obtention des récompenses.

En conséquence, la fourniture et l'installation de ces appareils sont faites dans les conditions prévues par les articles 45 et suivants du règlement général; c'est-à-dire qu'il n'est rien alloué de ce chef à M.....

Propriété des matériaux de l'entreprise proprement dite. — Art. 36. Quant aux matériaux employés par ce constructeur pour son entreprise proprement dite, tels que ceux qui auront servi à la construction du bâtiment du générateur, du fourneau, du carneau; à l'établissement de la tuyauterie et de la transmission, ils resteront, à la fin de l'entreprise, sa propriété et seront repris ou abandonnés par lui, s'il le juge préférable, en sorte que la Commission impériale doit lui payer seulement

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la différence entre le prix de premier établissement et la valeur de reprise après emploi, en outre des frais afférents au fonctionnement du moteur.

Somme allouée à M..... — Art. 37. Par suite des diverses conditions qui définissent et caractérisent cette entreprise, la somme allouée à M..... est fixé à forfait à (1) ..... Elle comprend notamment le bâtiment du générateur, la cheminée, le carneau qui le réunit au moteur, la prise d'eau, la tuyauterie d'amenée et de condensation, la transmission, le combustible, l'entretien, le graissage, le personnel, le calage des poulies et autres accessoires fournis par les exposants; en un mot, l'ensemble des dépenses exigées par la production de la force motrice nécessaire aux classes n° ..... et par sa transmission régulière à deux arbres de couche. . . . . .

Délais d'exécution. — Article 40. L'entrepreneur soussigné s'engage à commencer ses travaux de maçonnerie avant le 1er mai 1866, et à avoir terminé l'installation complète de ses appareils au plus tard le 1er février 1867. A cette date les foyers seront allumés, et la transmission générale essayée. Les résultats de cette opération seront constatés par un procès-verbal sur le vu duquel sera payé, s'ils sont satisfaisants, le premier terme de l'allocation ci-dessus stipulée.

Objets exposés de la classe 52.

Points de vue respectifs des Jurys des classes 52 *et* 53. — Les Jurys des classes 52 et 53 ont eu à juger quelquefois des machines exactement semblables. Mais, pendant que le Jury de la classe 58 pouvait se mouvoir dans le champ de la mécanique générale, le Jury de la classe 52 a dû, nous ne dirons pas limiter ses appréciations à la constatation de la satisfac-

(1) Cette somme a été calculée, dans chaque traité particulier, sur le pied de 600 francs par cheval dans la limite de la force énoncée à l'article 18. La force totale étant, d'après le détail indiqué plus haut, égale à 626 chevaux, la dépense s'est élevée de ce chef à 375,600 francs, ce qui donne, avec la plate-forme centrale, environ un million pour la dépense totale du service.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

tion des besoins de l'Exposition, mais au moins tenir compte de cette spécialisation des appareils soumis à son examen.

Dans tous les cas, une entente devait s'établir et s'est naturellement établie entre les membres représentant, dans le Jury de groupe, les classes 52 et 53, de façon à placer tous les constructeurs de machines dans des conditions d'appréciation identiques.

Câbles télodynamiques de M. Hirn. — Le jury de la classe 52 a eu la bonne fortune de trouver, parmi les appareils inscrits au catalogue de sa classe, et soumis à son examen exclusif, les câbles télodynamiques de M. Hirn, qui ne rendent dans l'Exposition qu'un service secondaire, mais qui remplissent dans l'industrie un rôle déjà considérable. Nous allons faire connaître, avec quelques détails, les faits qui recommandent cette disposition mécanique.

Les questions relatives à la transmission de la force motrice ont une importance considérable, et tous les ingénieurs connaissent les solutions qui ont été proposées pour assurer cette transmission : succession d'arbres reliés les uns aux autres par des engrenages, emploi de poulies actionnées par des courroies qui se commandent successivement, envoi de la vapeur dans des conduites protégées contre le refroidissement par des enveloppes isolantes, envoi de l'eau ou de l'air comprimés. Applicables à des intervalles relativement faibles, ces solutions deviennent, pour ainsi dire, sans valeur dès que la distance augmente ; les organes intermédiaires absorbent alors en vibrations, en frottements, en résistances de toute nature, une part importante du travail moteur, et, pour un intervalle de plusieurs centaines de mètres, on ne retrouverait plus, à l'extrémité de la transmission, qu'une fraction minime du travail moteur.

M. Hirn s'est posé la question de la transmission de la force motrice d'une manière générale, c'est-à-dire indépendamment de l'intensité de la puissance à transmettre et de la distance à parcourir, et il a donné de ce grand problème une solution

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

si simple que les appareils dont il a proposé l'emploi semblent ne rien présenter de nouveau. Jamais le caractère fondamental des grandes découvertes, la simplicité, ne s'est accusé si nettement que dans les câbles télodynamiques. En les voyant marcher, tout le monde pense que rien n'était plus facile à faire, et cependant personne ne s'en était avisé avant M. Hirn.

Le Jury de la classe 52 a fait, à cet égard, une recherche approfondie; un de ses membres a compulsé les volumineux registres qui contiennent l'énoncé des brevets d'invention pris depuis un très-grand nombre d'années, et il n'a rien trouvé qui eût le moindre rapport avec les câbles télodynamiques.

Les transmissions à grande distance reposent sur l'application d'un seul principe de mécanique, que l'on formule en disant que: la puissance dynamique est mesurée par le produit de la force multipliée par la vitesse avec laquelle elle se meut; de telle sorte que, dans le travail mécanique, la force peut être, à volonté, convertie en vitesse, et la vitesse, en force. Par application de ce principe, dans l'appareil de M. Hirn, au point de départ du travail, la majeure partie de la force est convertie en vitesse, puis, à l'arrivée, la vitesse est de nouveau convertie en force.

Une poulie d'un grand diamètre (3 à 4 mètres), marchant à une vitesse de 100 à 150 tours par minute, commande, à l'aide d'un fil métallique, une poulie d'un diamètre égal, située à des distances qui, expérimentées à 50, 80, 100 mètres d'intervalle, n'ont pas tardé à atteindre 7 à 800 mètres, et même à dépasser un kilomètre.

Si la première poulie est actionnée par une puissance motrice de 100 chevaux, le câble transmet presque intégralement cette puissance à la seconde poulie sur l'arbre de laquelle une usine peut la recueillir et l'utiliser.

Pour les grandes distances, il est nécessaire d'employer des poulies de support sur lesquelles passe le câble, ou à l'aide desquelles on peut diviser l'intervalle à franchir en sections. Après beaucoup d'essais, M. Hirn a reconnu qu'un intervalle

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de 90 à 100 mètres était celui qui répondait le mieux au sectionnement des câbles.

La construction de ces poulies de support a présenté les plus grandes difficultés ; aucune des subtances essayées d'abord ne résistait au frottement du câble. La gutta-percha, fortement comprimée dans la gorge en fonte des poulies, a heureusement donné une résistance extraordinaire, et des poulies, garnies de cette substance, fonctionnent depuis plusieurs années, sans donner trace d'usure.

Les premières applications des câbles télodynamiques, faites par M. Hirn, remontent à dix-sept ans, en 1850. Nous citerons :

En 1850, une force de 12 chevaux, transmise à 80 mètres de distance (cette transmission marche encore aujourd'hui) ; en 1852, une force de 40 chevaux, transmise à 240 mètres de distance, à l'aide de deux poulies de 3 mètres, faisant 92 tours par minute, et reliées par un câble de 12 millimètres de diamètre ;

En 1854, une force de 45 chevaux, transmise à 1,000 mètres.

1858,	—	50	—	—	1,150	—
1859,	—	100	—	—	984	—

Cette dernière transmission, exécutée à Obereessel, près Francfort, est effectuée à l'aide d'un câble sectionné en huit stations. Le diamètre des poulies est de $3^{m}75$; le diamètre du câble, 15 millimètres, et sa vitesse 22 mètres par seconde.

A partir de 1859, les applications ne se comptent plus. En 1862, M. Hirn en connaissait plus de 400 ; ce nombre est, aujourd'hui, au moins doublé.

M. Hirn n'a point pris de brevet, et il a guidé par ses conseils toutes les personnes qui ont voulu établir des câbles télodynamiques.

Nous n'avons pas besoin d'insister sur les avantages que cette admirable application des règles de la mécanique assure à l'industrie et à l'agriculture.

Dans l'industrie, on rencontre souvent des forces naturelles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

très-difficilement utilisables dans les lieux où elles existent. On pourra, à l'aide d'une roue hydraulique, recueillir sur un cours d'eau une puissance considérable, mais il sera impossible de l'utiliser, parce que les berges du cours d'eau se prêteront mal à l'établissement d'une usine juxtaposée à la roue hydraulique. Avec un câble télodynamique, une turbine installée dans une gorge étroite transmettra à un bâtiment situé sur un terrain convenable une force de 100 ou 150 chevaux avec une perte que l'expérience a montré ne pas dépasser 5 à 6 pour 100.

En agriculture, bien des personnes ne voient pas sans inquiétude une locomobile allumée près d'une grange. Avec un câble télodynamique, on peut laisser plusieurs centaines de mètres entre le foyer et le lieu de dépôt des matières combustibles ; une transmission de ce genre existe dans le département de l'Eure, et marche avec un intervalle de 1,500 mètres.

Nous citerons, en terminant, une application récente qui montrera tout le parti que l'on peut tirer des câbles télodynamiques.

En 1864, une explosion terrible fit disparaître presque toute la grande poudrerie d'Ockhta, à 10 kilomètres de Saint-Pétersbourg. Quatorze édifices, séparés par des cours de 8 mètres de largeur, furent anéantis jusque dans leurs fondements; beaucoup d'autres furent renversés. L'établissement tout entier dut être reconstruit. Après l'étude d'une très-grande quantité de combinaisons, entraînant toutes des murs extrêmement épais et assez rapprochés, un officier d'artillerie proposa de profiter des ressources nouvelles que les câbles télodynamiques offraient aux ingénieurs, et de réaliser la seule combinaison qui soit efficace dans les poudreries, l'espacement des édifices. Cette proposition fut approuvée, et la poudrerie d'Ockhta, presque complétement reconstruite, offre aujourd'hui :

8 édifices dont les axes sont distants de 50 mètres ;

6 édifices distants de 100 à 120 mètres ;

5 édifices distants de 70 mètres.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La force donnée par deux turbines, produisant ensemble 280 chevaux, est divisée entre tous ces édifices par deux groupes de câbles télodynamiques. La première transmission a 400 mètres de longueur, depuis le moteur jusqu'à la dernière poulie; la seconde transmission a une longueur de 1,400 mètres.

L'ensemble des moulins, machines à grainer, à polir la poudre s'élève à 70 ; la force nécessaire à chaque machine varie entre $\frac{3}{4}$ de cheval et 5 chevaux. Que l'on remplace ces appareils, qui ne sont, en somme, que des engins de destruction, par des métiers, par des machines utiles, on aura un village industriel dans lequel la force d'une chute d'eau est répartie à domicile proportionnellement aux besoins de chacun ; on aura résolu un des plus grands problèmes sociaux qui se présentent aujourd'hui aux préoccupations de l'économiste : la production de la force motrice mise à la disposition de l'ouvrier au foyer domestique, où il sera retenu, et pourra exercer son industrie. C'est le même objet que se proposent les moteurs à gaz et qu'ils remplissent en effet, quoiqu'un peu chèrement, dans certaines conditions, comme nous l'avons dit plus haut.

Sur d'autres points, en Russie, on se dispose à actionner tous les appareils d'une poudrerie par une machine à vapeur, qui serait placée à plusieurs centaines de mètres des moulins, et dont l'application à ce genre de fabrication n'est rendue possible que par le câble télodynamique.

Deux personnes ont pris une part considérable à la vulgarisation des câbles télodynamiques, l'une, au point de vue théorique, l'autre, au point de vue pratique; nous voulons parler de M. le professeur Reuleaux, de Berlin, et de M. Martin Stein, de Mulhouse.

M. Reuleaux, professeur de mécanique à l'École polytechnique de Zurich et à l'institut royal de Berlin, a, dans de nombreuses publications scientifiques, montré les règles qui doivent guider les constructeurs dans l'établissement des câbles. Il a discuté les questions qui se rattachent à l'espace-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment des poulies de support, au diamètre des poulies et à celui des câbles, à la vitesse de marche; l'ouvrage considérable publié par M. Reuleaux sur la mécanique pratique : *Der constructeur*, *Braunschweig*, 1865, contient un chapitre des plus intéressants sur le *Hirn'sche Drahtseil Trieb*, et nous ne pouvons que renvoyer à ce travail toutes les personnes qui désirent approfondir les questions relatives à ce mode de transmission de la force.

M. Martin Stein, de Mulhouse, doit être considéré comme le premier constructeur de câbles télodynamiques qui existe en Europe. Sa maison a livré à l'industrie, depuis dix ans, près de 400 câbles, présentant un développement de 72,000 mètres, et transmettant des forces dont le total s'élève à 4,100 chevaux-vapeur.

Les câbles des poudreries russes ont été fabriqués par M. Martin Stein.

Nous nous sommes assez longuement étendus sur ce système de transmission, à cause de la haute distinction dont il a été l'objet (1) et de l'extension dont il est susceptible. On peut, d'ailleurs, se faire, à l'Exposition même, une idée exacte de ce système, qui est appliqué dans le service hydraulique (Voir la deuxième partie de ce Rapport). Un câble de 8 millimètres de diamètre, enroulé sur des poulies de 2 mètres de diamètre, transmet aux pompes centrifuges de MM. Neut et Dumont la puissance d'une machine locomobile de M. Calla de 25 chevaux de force. La distance à franchir est de 150 mètres divisée en deux intervalles, dont l'un comprend la traversée de la pièce d'eau située au pied du phare.

Machines motrices. — Le Jury de la classe 52 n'a pas eu à constater, soit dans les machines motrices, soit dans les appareils générateurs, de progrès saillants. Il n'avait pas, du reste, à en attendre, les exposants qui s'étaient présentés dans la classe 52 étant presque tous des constructeurs éprouvés qui

(1) M. Hirn a obtenu un grand prix pour des câbles

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

n'auraient pas voulu compromettre le service dont ils se chargeaient par des innovations et des tâtonnements.

Mais si ces machines motrices ne se distinguaient pas par des dispositions nouvelles, plusieurs se recommandaient par des qualités précieuses dont on ne saurait trop apprécier la valeur ; nous voulons parler :

De la simplicité dans la conception, de la perfection dans l'exécution, de la régularité dans la marche.

Il se fait à cet égard, chez la plupart des constructeurs français, une transformation qui mérite d'être signalée ; on semble reconnaître que le rendement des machines dépend beaucoup plus de la simplicité dans la conception et de la perfection dans l'exécution que de la réalisation d'un certain nombre de dispositions, ingénieuses sans doute, mais souvent compliquées, toujours dispendieuses, et absorbant dans leur mécanisme une part d'effet utile appréciable. On rencontre en même temps chez les constructeurs français moins de tendance qu'on n'en avait autrefois à imiter ce qui se faisait dans d'autres pays, et notamment en Angleterre, sans se rendre compte des motifs qui avaient pu guider les constructeurs anglais ; la mode exerce, en effet, son empire sur les machines à vapeur comme sur tant d'autres choses, et l'on changeait souvent sans motifs sérieux une disposition avantageuse et qui avait fait ses preuves.

Les constructeurs français abordent aujourd'hui l'étude de la machine à vapeur d'une manière plus rationnelle et pour ainsi dire plus philosophique ; sans rien négliger des enseignements de l'expérience, ils s'appliquent à faire passer dans le domaine des faits, avec tous les moyens d'exécution dont ils sont en possession aujourd'hui, les grands principes posés par Watt et en dehors desquels il n'a été fait, en définitive, aucun progrès sérieux. On se préoccupe, en même temps, dans une juste mesure, d'une harmonie dans les formes, à laquelle correspond toujours un progrès dans la qualité ; car on peut affirmer à l'avance qu'une machine de forme disgracieuse présente tou-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

jours quelque défaut: tantôt le poids est mal réparti sur les plaques de fondation, tantôt une pièce soumise à un effort déterminé transmet cet effort à une pièce de dimensions plus petites, et par conséquent insuffisantes, si la première a été bien calculée. En un mot, partout où l'œil est choqué, l'esprit le plus souvent a quelque chose à reprendre.

Les points sur lesquels les constructeurs français paraissent aujourd'hui complétement d'accord et que nous retrouvons dans presque toutes les machines exposées, sont les suivants :

Enveloppe de vapeur, détente variable, pistons à garnitures métalliques, rapide condensation.

Nous n'insisterons pas sur les avantages théoriques que présente chacune de ces dispositions: nous pouvons dire que ces questions sont complétement résolues en France et que, en ce qui concerne la détente, notamment, on voit fonctionner avec la plus parfaite régularité des machines puissantes, dans lesquelles la vapeur n'est introduite à pleine pression que pendant un vingtième de la course du piston. Aussi, nos constructeurs sont-ils arrivés à des chiffres de consommation de combustible beaucoup plus faibles que ceux observés en Angleterre, où l'économie de charbon est moins impérieusement commandée qu'en France.

Le Jury eût désiré pouvoir faire des expériences comparatives sur la consommation des chaudières et le rendement des machines de chaque lot, mais il a pensé que les conditions dans lesquelles se trouvaient ces machines étaient trop inégales pour comporter des expériences véritablement contradictoires; d'une part, la distance des chaudières au générateur variait dans le rapport du simple au double; d'autre part, le travail demandé aux machines par les exposants était extrêmement irrégulier; pendant plusieurs heures la machine tournait pour ainsi dire à vide, et, quelques instants après, elle devait donner toute sa force; ces variations ont permis d'apprécier, dans plusieurs cas, la valeur des régulateurs, mais elles se prêtaient mal à des constatations comparatives.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces principes admis, le Jury de la classe 52 a cru devoir placer au premier rang et, en quelque sorte, ex æquo, sept constructeurs, parmi lesquels deux se trouvaient dans une situation particulière et qu'il y a lieu de faire connaître.

Aux termes de l'article 16 du règlement sur les récompenses, les membres du Jury International ne peuvent obtenir aucune récompense, sauf le cas où une décision spéciale de la Commission impériale modifierait cette situation. M. le baron de Bussierre, président du Conseil d'administration de l'usine de Graffenstaden (Bas-Rhin) et membre du Jury de la classe 54, ayant déclaré qu'il n'entendait pas réclamer le bénéfice de l'exception prévue par la dernière partie de l'article 16, le Jury a dû déclarer hors concours la machine horizontale à détente variable et à condensation, exposée par l'usine de Graffenstaden, mais, en faisant cette déclaration imposée par le règlement, le Jury a ajouté que, « par ses « bonnes dispositions et son excellente exécution, la machine « exposée aurait été très-avantageusement classée et placée « avec celles pour lesquelles des médailles d'or ont été pro- « posées. »

Nous ajouterons que, construite sous l'habile direction de M. Messmer, cette machine de Graffenstaden présente, au point de vue de l'exécution, la perfection qui caractérise les machines-outils livrées chaque année par ce grand établissement.

La seconde maison placée dans une condition particulière était celle de M. Farcot et ses fils; les machines motrices exposées par ces habiles constructeurs, dans la classe 52, étaient en tout semblables, comme dispositions, à celles qu'ils avaient exposées dans la classe 53, mais beaucoup moins importantes que ces dernières; le Jury de la classe 52 n'a pas cru devoir proposer de récompense spéciale à la classe, mais il a déclaré « se joindre aux propositions faites par la « classe 53, en faveur d'une maison que recommandaient une « parfaite exécution, une recherche persévérante des moyens

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

« d'utiliser la force expansive de la vapeur et des progrès « notables dans la construction des chaudières (1). »

Les cinq autres constructeurs signalés pour leur supériorité relative sont : MM. Lecouteux, à Paris, pour deux machines à vapeur verticales à détente variable et à condensation, du système de Woolf; MM. Houget et Teston, à Verviers (Belgique), et Demeuse et Houget, à Aix-la-Chapelle (Prusse), pour deux machines horizontales à vapeur, et présentant, comme simplicité et construction des organes, d'assez grandes analogies avec les locomotives; M. P. Boyer, à Lille, pour une machine horizontale, à condensation et à détente variable indépendante; MM. Thomas et T. Powell, à Rouen, pour leurs deux machines verticales accouplées, à balancier et à condensation du système de Woolf; et MM. Le Gavrian et fils, de Lille, pour une machine horizontale, à détente et condensation.

Quant à MM. Ransomes et Sims, exposants, dans la Section anglaise, d'une machine motrice, le Jury de la classe 52 a laissé aux Jurys des autres classes, où l'exposition de cette importante maison est plus considérable, le soin de la récompenser à sa juste valeur.

Les divers moteurs récompensés représentent les types de machines horizontales et de machines verticales entre lesquels se partagent les préférences des constructeurs et des acquéreurs; nous n'essayerons pas de discuter la question de priorité entre ces deux types, qui auront tous deux trouvé, à l'Exposition de 1867, une magnifique expression.

Il faut signaler aussi la machine à gaz Lenoir, qui a reçu, dans la classe 52, des applications auxquelles elle se prête parfaitement.

Évaluation de la force des moteurs. — Avant de terminer ce qui concerne les machines à vapeur, nous croyons devoir

(1) M. Farcot et ses fils ont obtenu un grand prix dans la classe 53.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

exprimer un regret et un vœu au sujet de la désignation de la force des machines.

La force s'évalue ordinairement en chevaux-vapeur. Mais cette unité ne présente rien d'absolu, et sa définition varie même dans des limites très-étendues. On entend, le plus souvent, par force d'un cheval, celle qui correspond à un poids de 75 kilogrammes, élevé à un mètre, en une seconde, c'est-à-dire à 75 kilogrammètres; en Angleterre, l'unité adoptée par Watt était le poids de 33,000 livres, élevé à un pied, en une minute, ce qui équivaut à 76 kilogrammètres. Plusieurs appareils anglais ont une puissance dont l'indication en chevaux, pour être exacte, exigerait une unité de 300 kilogrammètres. Dans le département du Nord, les constructeurs et les industriels admettent qu'un cheval-vapeur correspond à la pression exercée par la vapeur, à trois atmosphères, agissant sur un piston de 55 centimètres carrés de surface et marchant avec une vitesse de 1 mètre par seconde. Cette force représente 110 kilogrammètres. Enfin, dans la marine, le cheval-vapeur correspond à 200, 225 ou 250 kilogrammètres.

Mais ces variations si considérables de l'unité ne sont pas les seules causes d'incertitude qui affectent l'évaluation de la force d'une machine. Il s'agit encore de savoir à quel organe de l'appareil on mesurera cette force, si ce sera sur le piston ou sur l'arbre de couche (1), et enfin quelle allure de la machine on prendra pour cette appréciation. On comprend, en effet, que la puissance varie suivant l'organe considéré, et que, d'au tre part, étant la résultante de la pression de la vapeur et de la vitesse du piston, elle doit être soumise à de très-larges oscillations, suivant la pression dans le générateur, la détente et le nombre de tours du volant.

Les éléments concourant à la détermination du travail mécanique sont, en somme, trop nombreux et trop complexes

(1) On admet que, dans les machines marines, la puissance sur l'arbre se déduit de la puissance sur les pistons, au moyen d'un coefficient qui varie de 0.50 à 0.75.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour qu'on puisse les représenter d'un mot par la formule du cheval-vapeur.

Aussi, rien de plus élastique aujourd'hui que la définition de ce travail. Tel constructeur livre pour 20 chevaux une machine qui peut fournir une force double. De là ces expressions de puissance nominale et puissance effective, qui n'offrent rien de net à l'esprit; de là enfin cette confusion qui, par exemple, dans la marine, conduit, pour la désignation de la force, aux neuf formules citées par M. Ledieu :

1° Formule de Watt; 2° formule du Gouvernement; 3° formule de l'Amirauté; 4° force nominale réalisée; 5° force, en chevaux de 75 kilogrammètres, sur les pistons; 6° force, en chevaux de 75 kilogrammètres, sur l'arbre de couche; 7° force, en chevaux de 200, 225 ou 250 kilogrammètres, sur les pistons; 8° force, en chevaux, de 200, 225 ou 250 kilogrammètres, sur l'arbre de couche; 9° force en chevaux de basse pression.

Les formules, dites de Watt, du Gouvernement et de l'Amirauté contiennent des coefficients très-différents et qui varient encore avec chaque grande usine.

En résumé, rien de plus vague que la notion de la force exprimée en chevaux. On ne s'entend ni sur l'unité ni sur son mode d'application. Il serait difficile de trouver, si ce n'est peut-être dans la cubature des bois, un autre exemple de confusion aussi regrettable. Aussi, plusieurs constructeurs renoncent-ils à cette formule vague et incertaine, et définissent la puissance de leurs machines par le travail spécial qu'elles peuvent accomplir, c'est-à-dire par le nombre de broches, de meules, de cylindres à faire mouvoir dans un temps donné, avec une consommation de combustible déterminée.

Tout en reconnaissant ce que ces dernières indications peuvent avoir d'utile, nous regretterions qu'on renonçât à l'usage de la formule si commode du cheval-vapeur; mais il faut, pour cela, en fixer très-exactement le sens et l'emploi, pour qu'elle fournisse un renseignement précis et rende un service

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

analogue à celui de toutes les données de poids et mesures, à l'aide desquels se définissent les objets.

En premier lieu, l'unité du cheval doit être ramenée en quelque sorte à une valeur légale et fixe de 75 kilogrammètres, toute autre valeur étant rigoureusement proscrite. C'est là une réforme qui semble facile, et l'on s'étonne même d'avoir à la demander.

D'autre part, il faudrait convenir que la force sera mesurée sur les pistons, à cause de la facilité que donnent, pour cette mesure, les diagrammes fournis par l'indicateur de Watt, et qu'on achèvera de la définir au moyen de la pression moyenne dans le cylindre, et du nombre de tours de la machine par minute. On arriverait, de la sorte, à donner au langage plus de précision, et à fournir à l'acheteur un guide qui lui manque aujourd'hui.

Chaudières. — Dans ces dernières années on a discuté la question de savoir si les grandes chaudières à bouilleurs, adoptées depuis si longtemps dans les usines, ne devaient pas être remplacées par des chaudières tubulaires analogues à celles qui fonctionnent avec tant de succès dans les machines locomotives. L'Exposition de 1867 donne, dans la classe 52, un exemple de ces préoccupations des constructeurs, et on peut y étudier la plupart des dispositions proposées depuis quelques années. Les chaudières à circulation n'ont pas cependant rencontré, parmi les exposants, des partisans nombreux, et, pour les grandes forces, la lutte s'établit entre les chaudières à bouilleurs et les chaudières à tubes intérieurs, mais les unes et les autres contenant une grande masse d'eau à vaporiser.

Le Jury de la classe 52 a particulièrement distingué les chaudières de la maison Farcot, déjà récompensées dans la classe 53, et, en outre, celles de MM. Galloway et fils, de Manchester; Laurens et Thomas, de Paris; Chevalier, de Lyon.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les constructeurs anglais ont exposé de grandes chaudières à double foyer intérieur, si employées en Angleterre, mais dans lesquelles on a introduit un perfectionnement sérieux. On sait que ces chaudières, connues sous le nom de chaudières de Cornouailles, sont exposées à l'accident de l'*affaissement*. Le tube, servant de foyer, comprimé, par la vapeur, de l'extérieur à l'intérieur, est en équilibre instable, et une première déformation entraîne sa destruction par aplatissement. MM. Galloway ont combattu cette tendance, en disposant, dans le grand tube, une série de petits tubes de forme tronconiques, qui fonctionnent comme des entretoises creuses, établissant une communication entre le haut et le bas de la chaudière, et augmentent la surface de chauffe. On peut reprocher à ces tubes la difficulté que présente la fabrication; mais ce n'est là qu'une affaire d'outillage, et MM. Galloway déclarent avoir déjà livré au public plus de 30,000 de ces appareils.

Dans les chaudières françaises, le Jury a recherché l'application des principes qui lui paraissent former la base de tout appareil générateur, savoir : grande réserve d'eau et de vapeur pour suffire aux consommations accidentelles de la machine et éviter les entraînements d'eau liquide, que l'on porte, souvent à tort, au compte de la puissance vaporisatrice; grandes chambres de combustion pour le brassage des gaz et leur mélange intime avec l'air avant leur sortie du foyer; grand diamètre pour les tubes destinés au passage de la fumée; enfin, simplicité dans les dispositions adoptées pour la visite et le nettoyage du foyer, des faisceaux tubulaires ou des tubes isolés.

Aucun des appareils fumivores, exposés dans la classe 52, n'a paru mériter de mention spéciale; conduits avec soin par les chauffeurs, tous ces appareils ont donné de bons résultats, mais, abandonnés à eux-mêmes, après les visites du Jury, les foyers ont souvent produit, surtout au moment de l'allumage, une fumée abondante.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Appareils accessoires. — Nous désignons sous le nom d'appareils accessoires :

Les appareils d'alimentation; les conduites de distribution de vapeur; les cheminées; les organes de transmission dans les parties curvilignes de la galerie.

La distribution de vapeur faite dans la galerie anglaise par MM. Donkin-Brian et C^ie^ a fixé l'attention du Jury; la vapeur, à sa sortie des générateurs, est distribuée à six machines, et cette distribution, bien que compliquée, ne donne lieu à aucune fuite.

Dans les appareils alimentaires, on doit signaler un appareil automatique employé par MM. Houget et Teston et Rouffosse sur les chaudières de la section belge. Fondé sur une étude approfondie des lois de la vaporisation et de la condensation, cet appareil est extrêmement ingénieux. Nous pensons toutefois que, pour le juger définitivement, il convient d'attendre la sanction de l'expérience : ces appareils automatiques, tant que leur fonctionnement n'offre pas une sécurité absolue, ont le grave inconvénient d'inspirer trop de confiance aux chauffeurs; aussi, pour notre part, donnerons-nous toujours la préférence aux appareils simples, qui exigent la présence du chauffeur et sollicitent de sa part une attention réfléchie.

Pour les bâtiments et les cheminées, le Jury a surtout apprécié les formes les plus simples, et, sans critiquer l'emploi de la pierre de taille, il a cru devoir récompenser les constructeurs qui avaient trouvé dans le sobre emploi de la brique des motifs suffisants de décoration.

Enfin, les dispositions adoptées pour les transmissions ont montré que la forme curviligne du palais n'avait été pour personne un obstacle sérieux; presque tous les constructeurs ont adopté le joint de Cardan, et les transmissions ont pu être prolongées sur un point jusqu'à une longueur totale de 120 mètres, sans le moindre inconvénient. La maison P. Boyer, de Lille, a remplacé le joint de Cardan par des engrenages coniques,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

formant entre eux un angle de 5°. Cette transmission marche avec une extrême douceur et ne donnerait probablement lieu à aucun entretien.

Enfin nous signalerons les mesures prises pour combattre la tendance au renversement qui aurait pu se manifester dans la partie supérieure de la plate-forme; quelques constructeurs ont transformé en contre-fiche l'échelle qui leur était nécessaire pour effectuer le graissage des paliers; d'autres, et notamment MM. Powell, de Rouen, ont disposé l'attaque des courroies verticalement, de manière à éviter tout effort latéral. Sur d'autres points enfin, deux moteurs ont été disposés en regard l'un de l'autre, de façon à équilibrer leur action sur la plate-forme.

En résumé, le problème de la force motrice a été résolu par les constructeurs exposants d'une manière satisfaisante, et toutes les conditions du programme posé par la Commission impériale ont été convenablement remplies. Le service n'a pas cessé de fonctionner dans des conditions d'exacte régularité, chaque constructeur tenant à honneur de s'en acquitter d'une façon irréprochable. Il n'a coûté à la Commission impériale que des sacrifices modérés et certainement de beaucoup inférieurs à ceux qu'eût entraînés toute autre combinaison. Enfin, il a respecté la sécurité des ouvriers et du public, et l'on ne saurait trop s'applaudir, aujourd'hui que l'Exposition est close, que, pendant sa durée de 213 jours, les moteurs aient pu marcher sans explosion, rupture, ni accident qui mérite d'être signalé.

CHAPITRE II.

SERVICE HYDRAULIQUE.

§ 1. — Données servant de base à l'organisation du service.

Évaluation de la quantité d'eau nécessaire au service. —

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Avant d'arrêter l'organisation du service hydraulique de l'Exposition, le comité de la classe n° 52 a dû, tout d'abord, se rendre compte, avec la précision que comportait le sujet, des divers besoins que serait destinée à satisfaire la distribution d'eau. Avec une agglomération d'intérêts considérables et complexes, ces besoins devaient être aussi variés qu'impérieux, et pouvaient se ranger dans les trois catégories ci-après : 1° service du parc, comprenant l'arrosage des pelouses, les cascades, les rivières, les fontaines monumentales; 2° service mécanique, c'est-à-dire alimentation des générateurs et des condenseurs des machines motrices; 3° service de la population proprement dite, avec ses exigences de propreté, de boisson, etc. — Un mot est nécessaire sur chacune de ces consommations.

Besoins du service du Parc. — D'après les bases admises dans le service des plantations de la ville de Paris, il faut compter pour un bon arrosage des pelouses et gazons sur un volume de 4 à 5 litres par jour et par mètre superficiel.

La proportion est sensiblement la même pour l'arrosage des chaussées et allées (1). En calculant la consommation d'eau afférente à ces dépenses pour la surface du parc, qui est d'environ 30 hectares, on arrive à un débit journalier d'environ..... 1,500^{mc}

Les cascades et rivières consomment le volume dont on peut disposer en leur faveur, mais qui ne saurait, pour un effet décoratif important, descendre par jour au-dessous de..... 2,000^{mc}

Il en est de même pour les fontaines monumentales, dont le débit est très-variable, ainsi qu'il résulte du tableau

A reporter... 3,500^{mc}

(1) Voir *Annales des Ponts et Chaussées* (1er semestre 1859.—N° 239, p. 316.)

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Report..... 3,500mc

ci-dessous (1). En vue d'obtenir un grand effet hydraulique, les prévisions se sont élevées de ce chef à 2,000mc

Ce qui fait ressortir le total des besoins du service du parc à 5,500mc

Besoins du service mécanique. — Le service mécanique a, de son côté, des exigences très-importantes, surtout si on veut satisfaire largement la condensation. Les constructeurs, auxquels la Commission impériale fournissait l'eau gratuitement, devaient même avoir une tendance à exagérer cette dépense hydraulique,

(1)

DÉSIGNATION des VILLES	DÉSIGNATION des FONTAINES	CONSOMMATION hydraulique DES FONTAINES par seconde (en litres.)	CONSOMMATION hydraulique DES FONTAINES par jour de 10 h. (en m. cub.)	INDICATION des sources où l'on a puisé les renseignements du tableau.
			m. cub.	
Paris.....	Place de la Concorde... (chaque)	53 l. 00	1,908	M. Dupuit. Distribution des eaux.
	Ancienne gerbe du rond-point des Champs-Elysées.....	25 00	900	
	Gerbe du Palais-Royal..	23 00	828	
	Place Richelieu.....	9 00	324	
	— Saint-Georges...	1 00	36	
Lyon.....	Place Belle-Cour.....	40 00	1,440	M. A. Dumont. Distribution d'eau de Lyon.
	— des Terreaux....	12 00	432	
	— Napoléon.....	11 00	396	
	Jardin des Plantes.....	9 00	324	
	Port Saint-Clair.....	5 00	180	
	Place Saint-Jean..... ..	3 00	188	
	Divers.....	30 00	1,080	
Dijon.....	Porte Saint-Pierre.....	20 00	720	M. Darcy. Fontaines de Dijon.
	— Saint-Guillaume..	9 00	324	
Toulouse..	Place du Boulingrin...	16 00	576	M. H. Mangon. Dictionnaire des Arts et Manufactures. — (Eaux.)
	— de la Trinité.....	1 40	50	

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

	Report....	5,500^{mc}
pour diminuer la consommation de combustible et augmenter le rendement des moteurs. Il fallait donc laisser une grande marge aux prévisions.		
On compte généralement pour la condensation sur un volume de 600 litres par heure et par cheval. C'est le chiffre indiqué par M. Dupuit, dans son ouvrage sur les distributions d'eau, et par le tarif officiel de la ville de Paris. Avec une marche de huit heures par jour pour les machines, chaque cheval-vapeur consomme donc environ 5 mètres cubes, ce qui équivaut, pour les 500 chevaux représentés par les machines à condensation, à un total de.....	2,500^{mc}	
L'alimentation des chaudières peut dépenser 50 litres par heure, soit, pour 1,000 chevaux et une marche de huit heures, un total de....	400^{mc}	
Les moteurs à gaz consomment, pour le refroidissement du cylindre, un volume qui n'est pas moindre de 2^{mc}50 par heure. La force demandée à ces moteurs étant de 10 chevaux environ, ils devaient dépenser, par journée de travail de huit heures, un cube quotidien de.....	200^{mc}	
On peut encore comprendre, dans cette même catégorie du service mécanique, le volume d'eau dépensé pour le fonctionnement des monte-charge hydrauliques, et de quelques autres appareils à eau forcée, soit environ.....	100^{mc}	
Total de ce service.....		3,200^{mc}
A reporter...		8,700^{mc}

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Report... 8,700^{mc}

Besoins de la population. — Quant aux besoins de la population, ils étaient multiples comme ceux d'une grande ville. Le Champ de Mars contenait les envois de 60,000 exposants et servait de rendez-vous à une foule de visiteurs qui s'est élevée jusqu'à 130,000 dans une journée (1), et s'est tenue en moyenne aux environs du chiffre de 50,000. Qu'on ajoute à ce nombre considérable celui des agents d'exposants, presque aussi nombreux que les exposants eux-mêmes, tous les concessionnaires et leur personnel, on trouvera, pour les bases de la consommation hydraulique, une population permanente de plus de 100,000 âmes.

Les besoins de cette population ont trait à la boisson et à la propreté, et ne peuvent pas se chiffrer par une dépense inférieure à 10 litres par personne et par jour, ce qui donne pour ce service un nouveau volume de..... 1,000^{mc}

C'est donc ensemble un total de..... 9,700^{mc}

Soit, en nombre rond, un volume quotidien de..... 10,000^{mc}

Tel est le chiffre qui s'imposait au comité de la classe 52, et qu'il a accepté pour donnée de ses études.

Division du service en deux étages. — En examinant l'énumération qui précède, on voit de suite que toutes les consommations qui y figurent n'exigent pas la même pression : les unes, comme l'arrosage et l'alimentation des fon-

(1) Celle du lundi de la Pentecôte. Le chiffre de 130,000 ne comprend que les visiteurs payants, et laisse en dehors les porteurs de cartes ou billets d'abonnement. Le mouvement des entrées a atteint le nombre de 200,000 le dimanche 27 octobre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

taines monumentales, demandent une charge d'au moins 15 à 20 mètres; d'autres, au contraire, comme le service des condensations et des rivières, peuvent s'effectuer avec une très-faible pression dans les conduites. De là l'idée de diviser le service hydraulique en deux groupes ou étages, ayant chacun son réseau distinct et affecté à des destinations différentes. Chacun de ces étages devait répondre à une distribution d'environ 5,000 mètres cubes, et pouvait d'ailleurs être mis en communication avec l'autre étage, en cas de besoin; ces deux groupes ont reçu le nom de service bas et de service haut.

§ 2. — Service bas.

Définition et organisation de ce service. — L'organisation du service bas était relativement facile. Fidèle à son principe de transformer en objet de concours les mesures à prendre pour donner satisfaction à chacun des besoins généraux, et s'inspirant des mêmes idées qui avaient présidé à l'agencement du service mécanique, le comité a fait appel, pour ce service bas, à des constructeurs de pompes qui lui ont prêté leur coopération avec empressement, et ont fait marcher leurs appareils exposés, non pas en vue d'une simple démonstration, mais au profit de l'alimentation publique.

Comme pour le service mécanique, la Commission impériale a pris à sa charge les dépenses ayant un caractère de permanence et de durée, telles que l'installation des appareils, la pose des conduites, la fourniture du combustible, etc. Les exposants n'ont eu à fournir que les appareils proprement dits.

Le service bas comprend deux opérations successives : la première consiste dans le remplissage du lac, au milieu duquel s'élève le grand phare métallique et dont le niveau est d'à peu près 5 mètres au-dessus de l'étiage de la Seine; la seconde

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est constituée par le refoulement de l'eau du lac dans un réservoir placé 10 mètres plus haut, soit à 15 mètres au-dessus de l'étiage, et en communication avec tout le réseau du service, dont il régularise la pression. Cette division du travail était nécessitée par des convenances de décoration, dont il est facile de se rendre compte : on ne pouvait songer à mettre en communication directe le lac avec la Seine, dont le niveau eût été trop bas par rapport au terre-plein général du Champ-de-Mars, et dont les variations auraient d'ailleurs, à tout instant, modifié l'aspect des berges du lac.

Remplissage du lac. — Le travail à faire pour le remplissage du lac varie avec le niveau de la Seine, et s'opère au moyen de la grande pompe de la machine marine d'Indret, qui est mise en mouvement dans le hangar de la berge. Cette pompe aspire l'eau dans un puisard, établi en avant du hangar et mis en communication directe avec le fleuve par un large aqueduc de 2 mètres sur $1^{m}25$, dont le radier est placé à 1 mètre en contre-bas de l'étiage. Elle rejette l'eau ainsi aspirée dans le lac, sous forme de nappe déversante d'un très-bel effet. Le volume refoulé par ce puissant engin atteint au moins le chiffre de 2,000 mètres cubes par heure, et dépasse notablement les besoins de l'alimentation dans le même laps de temps, de sorte que l'excédant retourne à la Seine par le trop-plein du lac. Le comité avait espéré pouvoir lancer directement cette eau dans le réseau du service bas; mais le volume s'en est trouvé tellement considérable, qu'il dépassait les moyens de débit de la conduite, du trop-plein du réservoir et même du lit de la rivière du parc, et qu'il a fallu se résigner, pour ne pas exécuter des travaux dispendieux, à borner cette élévation d'eau à l'alimentation du lac.

Quand la grande machine d'Indret est en chômage, le remplissage de la pièce d'eau s'effectue par une pompe rotative de MM. Neut et Dumont, qui est actionnée au moyen du câble

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

télodynamique de M. Hirn, par une machine locomobile de M. Calla, située à une distance de 150 mètres (voir chap. I, § 4, p. 488). Cette pompe aspire l'eau dans le même puisard que celle d'Indret, et la rejette ensuite dans un vaste puits, placé à l'extrémité du lac et mis en communication avec lui par une conduite à grand diamètre.

Refoulement dans le réservoir et la canalisation. — Le niveau du lac est sensiblement constant, ainsi que celui du réservoir. Les constructeurs chargés de la deuxième opération du service bas font donc travailler leurs appareils dans des conditions plus favorables à la régularité du fonctionnement.

Les installations de ces pompes sont au nombre de quatre et appartiennent à MM. Letestu et Calla, MM. Rouffet et Thirion, M. Coignard et M. Nillus le jeune. Leurs appareils aspirent l'eau dans le puisard où la rejette celui de MM. Neut et Dumont, et la refoulent ensuite dans le réservoir et le réseau du service bas. Pour obtenir le volume nécessaire aux besoins de cet étage, on fait marcher simultanément deux de ces pompes sur quatre.

Le réservoir de ce service est plutôt destiné à régulariser la pression dans les conduites qu'à emmagasiner une provision d'eau significative. Il est en tôle, offre une contenance de 55 mètres cubes, et s'élève en face et à proximité du deuxième secteur du palais, au centre d'une tour en ruine, qui le domine et qui a été décorée avec art par le paysagiste.

La conduite de refoulement fait le tour du palais, projette des embranchements sur les condenseurs et les chaudières du service mécanique, et se termine aux cascades du jardin réservé, dont les eaux sont recueillies par une rivière, puis reviennent, après un parcours souterrain, dans la seconde rivière du parc, et rentrent enfin dans le lac d'où elles avaient été aspirées.

Cette combinaison du service bas assure une très-grande sécurité à son fonctionnement; elle associe des exposants à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

la satisfaction des besoins généraux du public, et met en œuvre les éléments même de l'Exposition. Enfin, elle a l'avantage d'être notablement plus économique que l'appel aux ressources municipales. La ville, ainsi qu'on le verra tout à l'heure, fournit le mètre cube au taux de 0 fr. 10 centimes, tandis que cette eau ne revient pas à la Commission impériale, à l'aide de cette organisation, à plus de 0 fr. 02 centimes en moyenne.

§ 3. — Service haut.

Adoption d'un service distinct de celui de la Ville. — Pour le service sous pression ou service haut, les difficultés d'organisation étaient plus grandes, à cause de la nécessité d'une réserve assez considérable pour faire face à toutes les éventualités, surtout à celle d'incendie. La question de sécurité primait ici celle d'économie, et le comité de la classe 52 devait s'inspirer des règles de la prudence la plus sévère.

La première question que le comité a eu à se poser était celle de savoir s'il convenait de s'adresser uniquement à la ville de Paris pour alimenter cet étage, ou s'il fallait, au contraire, adopter un service distinct : c'est cette deuxième solution qui a prévalu, après mûre délibération. On venait, en effet, de traverser l'été de 1865, pendant lequel la ville n'avait pu qu'à peine donner satisfaction à tous les besoins. Le rapport présenté par M. Cornudet au conseil municipal, rapport inséré au *Moniteur* du 10 février 1866, ne laissait aucun doute sur l'insuffisance actuelle des ressources hydrauliques de la ville. Dans de semblables circonstances, le comité n'a pas jugé prudent d'imposer à la distribution urbaine une surcharge aussi lourde que celle du service du Champ de Mars, et il a proposé à la Commission impériale d'organiser un service hydraulique spécial à l'Exposition, et de faire appel pour le réaliser au concours des exposants.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Réservoir Malakoff. — Cette solution exigeait l'établissement, à une altitude d'environ 30 à 35 mètres au-dessus de l'étiage, d'un vaste réservoir suffisant pour l'approvisionnement d'une journée, c'est-à-dire d'une contenance d'environ 4 à 5,000 mètres cubes. Après d'assez longues recherches, le terrain nécessaire à cette construction a été trouvé au sommet du Trocadero, en bordure de l'avenue Malakoff, n° 17. Le réservoir a été établi en déblai, avec une surface d'eau moyenne de 10 ares et une profondeur de $4^{m}50$. Les talus inclinés à 45°, et le fond sont simplement revêtus de béton aggloméré, système Coignet, sur une épaisseur de $0^{m}10$. Ce système, très-économique, a bien résisté et a donné une étanchéité des plus satisfaisantes.

Le plan d'eau supérieur est maintenu, par un déversoir, à $0^{m}25$ en contre-bas de l'arête des talus, soit à lacote 65 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Le réservoir n'est revenu, sans compter le terrain, et en y comprenant les murs de clôture et la chambre des vannes, qu'à une somme de 22,000 francs, soit à 5 francs par mètre cube de capacité. Le loyer du terrain, depuis le 1er juillet 1866 jusqu'au 1er janvier 1868, a coûté en outre 14,000 francs; ce qui fait, par mètre d'eau emmagasinée, un total de 7 fr. 50, et par mètre d'eau élevée, 0 fr. 04 en comptant sur une consommation d'environ 900,000 mètres cubes pour le service haut.

Usine hydraulique de la berge de la Seine. — L'usine hydraulique a été créée sur la berge de la Seine, à l'aval du pont d'Iéna, et a été confiée à M. Thomas Scott, de Rouen. Elle comprend deux machines de Woolf accouplées, commandant des pompes à piston plongeur, qui aspirent l'eau directement de la Seine, et la refoulent au réservoir Malakoff, distant de 560 mètres de l'usine. Le volume ainsi élevé journellement est de 5,000 mètres cubes, et peut atteindre le double, en faisant fonctionner jour et nuit les deux pompes.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La conduite de refoulement, qui a 0^m35 de diamètre, sert aussi d'artère de distribution, et se ramifie à partir de l'usine, dans le Champ de Mars, dont elle suit les principales allées, et dont elle alimente les nombreuses bouches d'arrosage et les divers besoins. Elle traverse le Palais, et projette, dans chacune de ses voies rayonnantes, des branchements qui aboutissent à des bouches d'incendie, auprès desquelles est approvisionné tout un matériel de boyaux et de lances.

La différence entre le niveau du réservoir Malakoff et celui du sol du Palais est de 31^m78, ce qui donne, même en déduisant la perte de charge due au frottement, une pression très-convenable pour un bon service des différents orifices de consommation.

Le même tuyau servant à la fois, à partir de l'usine, au refoulement et à la distribution, on voit que l'eau élevée par la machine se rend au réservoir ou au Champ de Mars, suivant que la dépense est ou non inférieure à l'élévation. C'est un moyen d'éviter une double canalisation pour le refoulement de l'eau du réservoir, et pour la distribution du réservoir aux orifices de consommation. L'expérience a prouvé au Champ de Mars, comme elle l'avait déjà fait dans des circonstances analogues, que l'on pouvait ainsi économiser la dépense d'une des deux conduites sans inconvénient dans la pratique.

Le service doit être dirigé de façon à laisser la nuit le réservoir au moins à moitié plein, pour parer à tous les besoins imprévus, et surtout pour conjurer le danger d'incendie qui, dans un palais rempli des richesses du monde entier, doit éveiller à un si haut degré toute la sollicitude de l'administration.

Le prix payé à l'entrepreneur à forfait pour le refoulement au réservoir est de 0 fr. 05 par mètre cube. En ajoutant à ce prix les frais du réservoir et de la canalisation du Trocadéro, on arrive à un total de 0 fr. 10, égal à celui que la ville de Paris avait demandé à la Commission impériale, de sorte que celle-ci n'a pas eu à payer une augmentation de dépense

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

pour le surcroît de sécurité que lui donne l'organisation d'un service distinct (1).

Emprunts faits à la distribution de la Ville. — La Commission impériale n'a point voulu, d'ailleurs, se priver du concours que lui offrait la Ville avec beaucoup de bon vouloir. Elle l'a, au contraire, largement mis à profit pour assurer la distribution, avant que le service ne fonctionnât dans ses conditions actuelles, et pour ajouter, en cas de besoin, le contingent des ressources municipales au produit des appareils élévatoires de la Commission impériale. A cet effet, les réseaux de l'Exposition ont été branchés en six points différents sur ceux de la ville, de manière à recevoir, à certains moments, les eaux d'Ourcq, ou celles de Seine, puisées soit à Chaillot, soit à Neuilly, ou enfin celles de la Dhuys. A cet effet, le réservoir Malakoff a été mis à la fois en jonction avec la canalisation de la machine de Neuilly par un tuyau de 0^m25, et avec celle de la pompe à feu de Chaillot par un tuyau de 0^m30; de sorte que son alimentation était largement assurée, alors même que la machine Scott était arrêtée. C'est ce qui a eu lieu, notamment pendant tout le mois d'avril. Durant cette première période de l'installation, où l'usine de la berge n'avait pu être terminée par suite de la hauteur persistante des crues de la Seine, la ville a fourni à la Commission environ 100,000 mètres cubes, et lui a ainsi permis d'attendre le fonctionnement normal de ses services, qui, depuis lors, ont tenu tout ce qu'on s'en était promis.

Les réseaux de l'Exposition, nous venons de le dire, sont reliés à la distribution d'eau d'Ourcq; cette jonction est faite au moyen de trois prises situées auprès de l'École Militaire et de la porte Rapp. Ces eaux, dont la pression ne s'élève guère, au

(1) La ville de Paris demandait en outre à la Commission impériale de supporter la dépense, évaluée à 30 ou 35,000 fr., pour l'établissement de la conduite de jonction entre le Champ de Mars et la canalisation des réservoirs de Passy. Cette somme a été entièrement économisée par la combinaison qui a prévalu.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Champ de Mars, a plus de 5 à 6 mètres au-dessus du sol, ne peuvent alimenter que le service bas, et devaient particulièrement desservir, à l'aide d'une conduite circulaire de 0m10 de diamètre placée dans les sous-sols et au pourtour du palais, les restaurants et limonadiers. Mais, depuis lors, ces derniers ont renoncé à cette alimentation en eau d'Ourcq, et font leur service avec de l'eau du réservoir Malakoff, filtrée, soit chez eux, à l'aide de filtres particuliers, soit dans un bâtiment établi dans le parc en face de la porte Saint-Dominique, et qui contient six filtres du système de MM. Vedel, Bernard et Cie, capables de débiter chacun 8mc environ à l'heure. Ces filtres, qui fonctionnent sous pression, sont composés de laine préparée au tannate de fer, de grès, de charbon, de gravier et d'éponge. Le nettoyage en est facile, et le service, en somme, satisfaisant. Les eaux, après avoir subi cette opération, remplissent la conduite circulaire de 0m,10, qui est ainsi soumise à la pression du service haut, et alimentée en eau de Seine, au lieu de l'être en eau d'Ourcq.

Enfin, une dernière prise a été opérée sur le réseau municipal, et fonctionne à la grande satisfaction du public. C'est la jonction avec les eaux de la Dhuys. Ces eaux ont des qualités de transparence, de fraîcheur et de pureté qui les rendaient particulièrement propres à la boisson et à l'alimentation de l'aquarium d'eau douce. Depuis qu'on les emploie à ce dernier usage, on a pu renoncer aux filtres avec lesquels on essayait de clarifier les eaux de Seine, et les bacs de l'aquarium laissent voir aujourd'hui jusqu'aux moindres détails de la curieuse population qu'ils renferment. En outre, un tuyau spécial amène l'eau de la Dhuys à l'une des douze fontaines populaires et gratuites, installées autour du palais et dans le parc, pour l'usage du public; et dans les jours de grande chaleur, cette fontaine, dont les eaux sont très-agréables et ne dépassent pas 15°, est toujours entourée par une foule très-nombreuse, avide de s'y rafraîchir. On peut dire que c'est là la véritable exposition d'une des branches de ce vaste service

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

hydraulique installé, à son grand honneur, par la ville de Paris, et dont l'extension progressive atteindra bientôt tous les besoins qu'il doit satisfaire.

Abonnements particuliers. — La distribution d'eau qui vient d'être définie alimente les services généraux et les besoins des particuliers. Pour ces derniers, l'eau leur est concédée par abonnement, moyennant le prix de 0 fr. 10 le mètre cube, prix très-inférieur de revient, si on ajoute à la dépense d'élévation par les machines celle de la canalisation (1). Le nombre de ces abonnés est de 150, dont 54 dans le palais et 96 dans le parc, et le volume qui leur est concédé par jour est d'environ 1,000 mètres cubes. On doit citer, parmi les diverses consommations comprises dans ce total, celles des restaurants, des urinoirs et water-closets, des fermes, de la blanchisserie, des appareils réfrigérants, du lavage des laines, de la stéarinerie. Une application intéressante de la pression hydraulique fournie par le réservoir Malakoff est celle de l'ascenseur mécanique de M. Édoux, qui consiste en une cage, supportée par un piston plongeur en fonte tournée, long de 29 mètres, et équilibré par des contre-poids. Ce piston se loge dans un cylindre en fonte enfoncé dans le sol, et son diamètre a été calculé de façon que la pression de l'eau, s'exerçant sous sa base inférieure, fasse équilibre au poids de 12 à 14 personnes installées sur la cage, et que cet équilibre persiste pendant l'ascension, la diminution graduelle de pression étant à chaque instant compensée exactement par la variation de longueur de la chaîne des contre-poids, qui se raccourcit du côté de la cage, et se déroule de l'autre côté de la poulie, au fur et à mesure que la cage s'élève (2).

(1) La Compagnie générale des eaux de la ville de Paris vend le mètre cube d'eau de Seine au prix de 0 fr. 67 à 0 fr. 22, suivant le volume de l'abonnement, et d'eau d'Ourcq au prix de 0 fr. 15 à 0 fr. 10.

(2) Cet ingénieux appareil, dont le succès a été complet, et qui paraît appelé à se généraliser, a fait beaucoup d'honneur à son auteur, déjà connu par d'intéressantes applications de la pression hydraulique. Il n'a pas élevé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quelques appareils recevaient leur alimentation d'une pompe élevant indéfiniment le même volume d'eau, sauf renouvellement partiel. On peut citer, dans cette catégorie, les châteaux d'eau et autres effets hydrauliques établis dans la galerie des machines, la grande nappe qui se déversait dans le hangar des pompes près du pont d'Orsay, la fontaine monumentale, exposée à la grande porte d'Iéna, par M. Barbezat, et dont l'eau était aspirée dans le lac par une pompe et une locomobile de M. Calla, puis y retombait après avoir produit son effet; enfin, l'aquarium marin, dont une pompe en cuivre de M. Thirion élevait incessamment l'eau, pour l'aérer et la filtrer.

Canalisation. — Avant d'achever ce qui concerne la distribution d'eau, il est bon de dire quelques mots de la canalisation. Elle comprend 13 kilomètres environ dont 12,841 mètres de conduites en fonte ainsi répartis, savoir :

Diamètre de...	0,350	Longueur...	2,997m45	
—	0,300	—	1,108 95	
—	0,250	—	1,719 30	
—	0,200	—	1.179 20	
—	0,150	—	106 60	
—	0,100	—	5,729 50	
	Total pareil.....			12,841 m

Les tuyaux sont en fonte et réunis entre eux par des joints à bague. Ce système, qui est appliqué sur une grande échelle par la ville de Paris pour les conduites en galerie, a donné de bons résultats au Champ de Mars, bien que la pose soit, pour la plus grande partie du développement, effectuée en tranchée. Il permet la dilatation des tuyaux, leur déboîtage et leur réparation; il facilite le contrôle du joint, et donne à la conduite une élasticité suffisante, pour que de légers tassements ou déplacements n'aient pas d'inconvénients sensibles.

Les robinets de la canalisation sont au nombre de 413,

pendant la durée de l'Exposition, moins de 4 à 500,000 personnes sur les toits du Palais, d'où l'on jouissait d'un magnifique panorama.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dont 314 en bronze à boisseau et 99 en fonte. Pour les petits diamètres, on a adopté le système à boisseau. Pour le diamètre de 0^m100 et au-dessus, on a donné la préférence aux robinets-vannes (robinets à coins en fonte, avec vis de pression, système Hubert). A chaque point bas du réseau, on a ménagé des moyens de vidange, à l'aide de branchements qui communiquent avec les égouts ou des puisards spéciaux.

Le matériel de la canalisation a été fourni en location et revient à un prix qui représente 37 pour 100 du prix d'achat. La dépense totale de cette tuyauterie s'est élevée à 160,000 francs et ressort par mètre cube distribué à 0 fr. 08.

Écoulement des eaux. — Après avoir insisté sur les détails de la distribution des eaux, il reste à indiquer succinctement les dispositions prises pour assurer leur écoulement, quand elles ont été souillées par l'emploi qu'elles ont subi.

Le système général d'assainissement de l'Exposition a pour base le grand collecteur de l'École Militaire, qui traverse le Champ de Mars, à peu près en diagonale, et va déboucher dans la Seine, à l'aval de la gare du quai d'Orsay. Dans le palais, un égout circulaire, répondant à la galerie des Beaux-Arts, déverse dans le collecteur le produit des drains secondaires et tertiaires, qui communiquent avec les cheneaux des toits, les restaurants et les condenseurs. Dans le Parc, des tuyaux en ciment et en poterie s'embranchent également sur le collecteur, et y amènent les eaux de pluie et les eaux ménagères, qui sont recueillies par les bouches d'égout disposées aux points bas.

Le cercle est ainsi fermé, et le drainage du Champ de Mars n'est pas moins complet, grâce aux mille canaux qui le desservent, que la distribution d'eau avec ses deux réseaux.

Résumé. — En résumé, le service hydraulique a été organisé sur la base d'une consommation journalière de 10,000 mètres cubes, c'est-à-dire sur la donnée qui conviendrait à une ville

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de 100,000 habitants. Il a été divisé en deux étages, l'un dont la pression n'est que de 10 à 12 mètres au-dessus du sol, et qui alimente les générateurs et condenseurs du service mécanique, les cascades et rivières ; l'autre qui donne une charge de près de 30 mètres, et qui est affecté à l'arrosage, aux fontaines monumentales. Ce service est distinct de celui de la Ville, et a été constitué en vue de l'Exposition. Confié à des constructeurs exposants, il forme lui-même un objet de concours. D'ailleurs les ressources hydrauliques de la Ville pourraient être, à un moment donné, largement mises à contribution, à l'aide des six prises d'eau effectuées sur le réseau municipal.

La combinaison adoptée paraît donc remplir les conditions désirables d'économie, de puissance et de sécurité, qui étaient imposées à un service aussi considérable, et sauvegarde tous les intérêts engagés dans la question.

§ 4. — Systèmes exposés.

Nous ne croyons pas devoir nous étendre sur le côté mécanique de ce service, à propos duquel nous ne pourrions que répéter les observations générales que nous a suggérées l'étude des machines à vapeur. Comme pour celles-ci, la tendance des constructeurs est d'adopter, pour les appareils élévatoires, des formes simples et en harmonie avec la fonction des organes. Cette branche de la construction s'inspire et profite de tous les progrès accomplis dans la mécaniqne générale, et s'étend, en raison de l'essor imprimé aux travaux publics, aux desséchements et aux distributions d'eau.

Le fait le plus intéressant à signaler dans cette industrie est l'importance croissante des pompes centrifuges. Ce système, qui a fait avec éclat son apparition à l'Exposition Universelle de 1851, n'a pas cessé, depuis lors, de se perfectionner et d'étendre ses conquêtes, et aujourd'hui ses applications ne se comptent plus. Les constructeurs se préoccupent actuellement d'améliorer le rendement, en étudiant de plus près le tracé

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

des aubes et la marche des filets fluides, et de remédier au désamorçage qui se produisait par le tuyau d'aspiration ou par le presse-étoupe. Telles qu'on les fabrique aujourd'hui, ces pompes se recommandent à toute la faveur publique et justifient leurs succès, tant par leur faible volume et l'absence d'organes sujets à dérangement que par leur grande simplicité d'installation et la sûreté de leur fonctionnement.

A côté de ce système, qui est représenté à l'Exposition par les appareils de MM. Neut et Dumond et L. Coignard, la classe 52 offre aussi des spécimens intéressants de pompes oscillantes à piston, exposés par MM. Letestu et Thirion. Ces pompes sont établies de façon à donner une grande régularité de service, un bon rendement, et à se prêter à l'aspiration d'eaux très-chargées.

Enfin cette classe comprend encore l'usine de MM. Thomas Scott, de Rouen, et Sagey, qui offre un bon type d'installation pour une distribution d'eau de ville. Contrairement à la disposition des autres appareils, le moteur et la pompe sont réunis dans cette usine, de façon à ne constituer qu'une seule machine. Le moteur est formé de deux machines de Woolf verticales, accouplées, dont le balancier commande directement la tige du piston des pompes.

Ces différentes installations sont soignées, et contiennent des détails ingénieux. Elles ont presque toutes donné un excellent service, et il est d'autant plus juste d'en savoir gré aux constructeurs, que l'on devait davantage redouter, pour ces usines hydrauliques, en quelque sorte improvisées, et au milieu de mille difficultés, les irrégularités et les tâtonnements qui précèdent d'ordinaire pour ces établissements, même installés à loisir, la période du fonctionnement normal.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II

MANUTENTION ET APPAREILS DE LEVAGE EMPLOYÉS AU DÉCHARGEMENT ET AU CHARGEMENT DES COLIS

PAR M. E. HANGARD.

La manutention se rattache à la classe 52 par les appareils de levage employés au déchargement et au chargement des colis et admis à concourir pour les récompenses, à titre d'objets exposés. Nous ne restreindrons pas le présent rapport à l'examen des divers systèmes de ces appareils et à l'appréciation des services que chacun d'eux a pu rendre. Nous pensons qu'il ne paraîtra pas inutile de le généraliser, en s'inspirant de l'esprit même qui a présidé à l'institution de la classe 52, et de donner, en même temps, une description rapide des différentes opérations constitutives de la manutention, ainsi que l'indication sommaire des mesures d'exécution et d'ordre général prises par la Commission impériale.

Dans une manutention d'exposition, les conditions du déchargement et du chargement des colis sont intimement liées aux conditions dans lesquelles les opérations précédentes de manutention se sont effectuées, et le même lien existe entre ces manœuvres et les opérations ultérieures. Nous croyons donc que, en complétant ainsi notre étude, nous permettrons au lecteur d'apprécier plus exactement les exigences du service que les appareils de levage étaient appelés à satisfaire. Ce rapport sera, par suite, naturellement divisé en deux parties : la manutention, et l'examen des appareils de levage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE I.

MANUTENTION.

§ 1. — Principes de la manutention à l'Exposition Universelle de 1867.

Précédents,— A l'Exposition de 1855, la Commission impériale s'était chargée des frais de transport, et avait confié au service de la manutention de la Chambre de commerce de Paris la manutention des colis de provenance étrangère, ainsi que les travaux d'urgence nécessités par l'installation ou l'aménagement des produits, le montage des pièces, le dressage des trophées, le transport du matériel, etc. Un personnel spécial, dépendant de ce service, et composé d'ouvriers de diverses professions, se tenait à la disposition des exposants, qui demeurèrent toutefois libres d'employer d'autres agents (1).

A Londres, en 1862, le transport des produits s'effectuait aux frais de l'Etat; la Commission Impériale avait cru devoir opérer la manutention par ses propres soins et se constituer intermédiaire entre les exposants et les compagnies de chemins de fer. La gare de la Chapelle, où se trouvait installé le service de la réception des colis, avait été transformée en dépôt d'où s'opéraient les expéditions au fur et à mesure de l'achèvement des installations. Au départ, la réexpédition s'effectua également par les soins des compagnies de l'Ouest et du Nord auxquelles la Commission Impériale remit directement les colis des exposants.

Cette centralisation d'un service complexe entre les mains

(1) Voir le Rapport de S. A. I. le prince Napoléon à l'Empereur sur l'Exposition Universelle de 1855, et le Rapport de l'administration de la Commission impériale, sur la section française de l'Exposition Universelle de 1862.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de la Commission Impériale lui a imposé, non-seulement de très-lourds sacrifices, mais encore une grave responsabilité, et l'on se souvient encore des retards et des encombrements qui ont signalé la manutention de 1855 et celle de 1862.

Principes de la manutention à l'Exposition de 1867. — Instruite par les expositions précédentes, et fidèle à son principe de laisser, autant que possible, le champ libre à l'initiative privée, la Commission Impériale de l'Exposition de 1867 s'est abstenue de toute immixtion entre les entrepreneurs de transport et de manutention et les exposants (1). Ces derniers ont dû, en conséquence, pourvoir, soit par eux-mêmes, soit par leurs agents, à l'expédition, à la réception et à la réexpédition de leurs colis. L'arrêté ministériel du 16 juin 1866 (2) définit les obligations des compagnies de

(1) Règlement général, tit. II, art. 41.

(2) *Tarif spécial applicable au transport des produits de toute nature destinés à l'Exposition universelle de* 1867, *extrait de l'arrêté ministériel du* 16 *juin* 1866.

§ 1. — *Transports sur les chemins de fer.*

Les produits de toute nature (objets d'art et valeurs exceptés), les voitures et animaux, le matériel roulant pouvant circuler sur les voies des chemins de fer français, à destination de l'Exposition de 1867, à Paris, seront transportés sur les chemins de fer *à moitié prix* des tarifs généraux et spéciaux des compagnies.

Le prix réduit ne devra, dans aucun cas, descendre au-dessous de la base de 0 fr. 4 par tonne et par kilomètre.

Mais l'expéditeur pourra toujours demander l'application des tarifs ordinaires, lorsque ces derniers lui seront plus favorables.

Les conditions des tarifs généraux et spéciaux seront applicables aux transports à destination de l'Exposition universelle. Ces transports seront passibles des frais accessoires dont la perception est autorisée par l'administration, ainsi que du droit ordinaire d'enregistrement et du prix du timbre dû au Trésor public.

Moyennant la réduction de 50 pour 100 stipulée ci-dessus sur les prix de transport, les compagnies sont exemptées de toute responsabilité au sujet des accidents qui pourraient survenir aux animaux transportés, quelle qu'en soit la cause, et même lorsque ces accidents proviendraient du chargement ou du déchargement.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

chemins de fer, et trace implicitement le rôle de la Commission Impériale et des entrepreneurs de manutention. Il indique, en même temps, le tarif spécial applicable aux produits destinés à l'Exposition.

Il ne sera pas admis de voyageurs dans les voitures transportées aux conditions du présent tarif.

§ 2. — *Objets d'art et de valeur.*

Le transport des objets d'art et de valeur sera effectué aux prix et conditions ordinaires des tarifs généraux.

§ 3. — *Transports de gré à gré.*

Sont exceptées du présent tarif les masses indivisibles (autres que wagons, machines et tenders roulant sur la voie) pesant plus de 10,000 kilogrammes, et les objets dont les dimensions excèdent celles du matériel.

Le prix de ces transports et de ces masses sera fixé de gré à gré.

Il en sera de même des locomotives, tenders et wagons ne pouvant circuler sur la voie des chemins de fer français.

§ 4. — *Transports dans Paris.*

Le transport dans Paris des objets destinés à l'Exposition universelle pourra être fait, soit par les exposants, soit par les compagnies de chemins de fer.

Dans le premier cas, les colis seront adressés ou dirigés sur les gares des diverses lignes dans Paris, et enlevés par les destinataires désignés par les exposants.

Dans le second cas, le transport sera fait par les compagnies, aux prix et conditions suivants :

Les colis pesant isolément moins de 1,200 kilogrammes seront conduits par camions.

Les colis pesant isolément 1,200 kilogrammes et au-dessus seront conduits par les chemins de Ceinture, rive droite et rive gauche de la Seine.

Les parties d'un même tout, telles que les pièces d'une machine, lorsqu'elles pèseront, les unes plus, les autres moins de 1,200 kilogrammes, seront réunies dans une même expédition et conduites à l'Exposition par les chemins de fer.

Les wagons complets en provenance de l'étranger, plombés en douane et adressés aux commissaires étrangers, pourront être amenés par les chemins de Ceinture, et seront remis sur les voies de l'Exposition aux délégués desdits commissaires, lesquels auront à pourvoir au déchargement et à la distribution du contenu de ces wagons.

Le prix du transport dans Paris, lorsqu'il aura été effectué par les compagnies, sera de 10 francs par tonne.

La perception aura lieu par fraction indivisible de 10 kilogrammes, avec un minimum de perception de 1 franc.

Les colis transportés par camions seront déchargés sur les voies macada-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Entrepreneurs de manutention. — Le champ est donc demeuré ouvert à la libre concurrence, et, en tête des entreprises les plus considérables, est venu se placer la manutention de la Chambre de commerce, appelée naturellement, comme en 1855, à jouer le rôle le plus important dans la manutention des colis étrangers. La plupart des puissances étrangères et quelques classes des sections françaises ont confié leur manutention à cette entreprise, qui, grâce à l'activité et aux ressources de son honorable directeur, M. Moreno-Henriquez, a puissamment contribué au succès du service général. Après la manutention de la Chambre de commerce, nous devons encore une mention à M. Balans, chargé de la manutention pour une partie des exposants de la section française, et surtout de ceux du groupe des machines, et, en outre, sous-traitant de la Compagnie de l'Ouest pour la traction, le déchargement et le chargement des wagons dans le Champ de Mars, opération dont il s'est acquitté avec beaucoup d'activité.

§ 2. — Expédition des colis

Dates d'admission des colis dans l'enceinte de l'Exposition. — Le règlement général du 7 juillet 1865, approuvé par décret impérial en date du 12 du même mois, fixait les différentes époques des arrivages et des installations. L'admission des produits, tant français qu'étrangers, devait s'opérer

misées de l'Exposition, aussi près que possible du local affecté à chaque exposant, qui en prendra livraison en ce point; le surplus des déplacements auxquels les colis pourront être soumis demeurera à la charge des exposants.

Lorsque l'emploi des grues sera nécessaire, le déchargement et la livraison auront lieu à la grue la plus rapprochée du lieu de la destination définitive du colis.

Les wagons amenés par les chemins de Ceinture et l'embranchement du Champ-de-Mars seront conduits sur les voies spéciales de l'Exposition jusqu'au point le plus rapproché de leur destination, puis déchargés au moyen de grues roulantes fournies par la Commission impériale; à défaut de grues roulantes disponibles, le déchargement sera fait à la grue fixe la plus voisine. Le prix de 10 francs fixé pour le transport dans Paris comprend cette opération.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

du 15 janvier 1867 au 10 mars suivant, à l'exception des colis d'un poids supérieur à 1,200 kilogrammes, qui ne devaient plus être reçus après le 25 février. Après le 10 mars, les colis retardataires ne pouvaient plus être admis sans autorisation spéciale de la Commission Impériale. Les exposants se sont conformés difficilement à ces dates réglementaires, et la Commission a usé de tolérance à leur endroit.

Expéditions par chemins de fer. — En 1867, comme en 1855, les produits étrangers ont été admis dans l'enceinte de l'Exposition sous le régime de l'entrepôt réel de douane.

La déclaration des commissaires étrangers suffisait pour faire bénéficier les produits, expédiés sous plomb de douane, du tarif spécial établi par l'arrêté ministériel du 16 juin 1866.

Pour jouir de ce tarif, nos nationaux étaient tenus de remettre à la gare de départ, à l'appui de la note ordinaire d'expédition, un bulletin justificatif de leur admission à l'Exposition, mentionnant leur nom, le poids approximatif des colis compris dans l'expédition, la ligne de chemin de fer, et la gare où les colis devaient être reçus. Le bulletin devait, de plus, porter la signature de l'un des délégués institués par la Commission Impériale pour la classe où figurait l'exposant, ou de l'ingénieur du syndicat de cette classe.

Expéditions par eau. — Tous les colis de la province et de l'étranger n'ont pas été expédiés par voie ferrée; un certain nombre ont été transportés par bateau, jusqu'au Champ de Mars. Ce mode d'expédition, exclusivement employé pour des pièces de fort tonnage, s'est effectué dans des conditions spéciales à chaque cas particulier.

§ 3. — Arrivages.

Modes d'arrivage des colis dans l'Exposition. — Les portes du Champ de Mars étaient ouvertes à l'entrée des colis de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

6 heures du matin à 6 heures du soir. Les arrivages avaient lieu, soit par voie ferrée, soit par camionnage, soit à bras ou à dos d'homme, soit par eau.

Arrivages par chemins de fer. — L'embranchement du Champ de Mars, destiné à amener les voyageurs jusqu'aux portes de l'Exposition, la mettait en communication directe avec les lignes de chemins de fer de la France et du continent par le chemin de fer de Ceinture; la Commission Impériale a créé, dans l'intérieur même de l'Exposition, un réseau de voies ferrées pour permettre aux wagons d'arriver, autant que possible, à l'emplacement destiné à leur contenu, et d'éviter ainsi les transbordements, et elle a relié ce chemin de fer à l'embranchement du Champ de Mars, construit par la Compagnie de l'Ouest. Assujetti à suivre, dans son parcours, les sinuosités des allées du parc, le tracé comporte une série presque continue de courbes et de contre-courbes, dont les rayons ne s'abaissent toutefois pas au-dessous de 80 mètres, et dont les plus fortes pentes ne dépassent pas $0^{m}02$ par mètre.

A l'intérieur du Palais, pour desservir la partie française de la galerie des Machines, la Commission a établi également une voie ferrée dans chacun des deux chemins circulaires; ces voies ont été prolongées partiellement par les sections étrangères, et ont constitué ainsi un second réseau intérieur réuni aux voies extérieures par des branchements normaux et des plaques tournantes. Ce réseau, formé de deux voies parallèles et de voies de jonction au droit de presque tous les chemins rayonnants, est continu, dans la galerie des Machines, sur 940 mètres, et ne s'interrompt que sur une longueur de 269 mètres, dans la traversée des pays qui n'ayant point de lourds colis à recevoir, ont cru n'avoir pas intérêt à établir une voie ferrée dans leur section. Il eût été toutefois préférable, pour éviter l'encombrement qui s'est produit à un certain moment dans les sections allemandes, que la voie circulaire eût existé sans interruption dans la grande galerie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Le chemin de fer de l'Exposition, établi très-rapidement et au milieu de difficultés de toute nature, mesure un développement de près de 6 kilomètres, et compte 26 plaques et quatre changements de voie. A la traversée des galeries d'aérage du pourtour du Palais, il a exigé la construction de ponts de 10 mètres, en briques. Il a dû être disposé de manière à disparaître immédiatement après l'ouverture de l'Exposition, et à pouvoir être utilisé pour la réexpédition. A cet effet, il a été établi dans le Parc avec un faible relief au-dessus des allées, puis enterré sous une couche de sable, pendant toute la durée de l'Exposition. Dans la galerie des machines, il a été placé un peu en contre-bas du plancher, et recouvert, au dernier moment, de panneaux mobiles s'appuyant sur des feuillures ménagées de part et d'autre des rails (1).

Cette voie, qui a coûté environ 80,000 francs, a été un instrument puissant de manutention, et a rendu des services considérables. C'est à elle qu'on doit surtout attribuer l'ordre et la célérité qui forment les traits distinctifs de l'arrivage et de la mise en place des colis destinés à l'Exposition de 1867.

Les arrivages par voies ferrées ont notablement dépassé les prévisions, tant de la Commission Impériale que des compagnies. 2,072 wagons, représentant un chargement de 10,000 tonnes, ont été reçus au Champ de Mars. Dans ces chiffres, la France figure pour 454 wagons et 2,698 tonnes; l'Angleterre, pour 539 wagons et 2,137 tonnes; la Belgique, pour 312 wagons et 1,508 tonnes. En mars, les arrivages ont atteint, par jour, les chiffres de 90 à 100 wagons et obligé la Compagnie de l'Ouest à faire voie unique, pendant plusieurs jours, sur l'embranchement du Champ de Mars, par suite de la transformation en voie de garage de la voie montante, depuis la gare de Grenelle jusqu'à celle de l'Exposition.

(1) Ce réseau a été exécuté par M. Castor, entrepreneur de travaux publics, sous la direction de M. Cheysson, chef du service du groupe VI, auteur des projets, et chargé de la manutention par voie ferrée, avec l'assistance du signataire de ce rapport, sous-chef de service.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Arrivages par camions. — Le camionnage transporta les colis des exposants de Paris, ainsi que la plus grande partie des colis expédiés par chemins de fer et pesant isolément moins de 1,200 kilogrammes. Pour éviter l'encombrement, les camions, comme toutes les voitures en général, ont été assujettis à pénétrer dans l'Exposition par des portes différentes, suivant leur destination. Le nombre des colis transportés par camionnage s'est élevé à 60,000 environ.

Arrivages à bras et à dos d'homme. — Quant aux colis transportés à bras ou à dos d'homme, dont le nombre fut considérable et échappe à toute évaluation, leur introduction se faisait par la porte la plus voisine de l'emplacement auquel ils étaient destinés.

Arrivages par eau. — Enfin, un certain nombre de colis, de fort tonnage, sont arrivés par la Seine. Ces colis ont été généralement placés sur des trucks à l'aide de la grue installée au port de Grenelle, par la maison Cail, et qu'une petite voie de raccordement reliait à la ligne du Champ de Mars, puis conduits à destination, dans l'intérieur de l'Exposition, par la Compagnie de l'Ouest. D'autres colis, enlevés par la même grue des chalands qui les amenaient, étaient placés sur des chariots à locomotive et transportés ainsi, à l'aide de chevaux, à l'emplacement qui leur était destiné, soit dans le Parc, soit sur la berge. Les lourdes pièces de la machine d'Indret et des autres machines installées sur la berge de la Seine, en amont du pont d'Iéna, ont été également transportées par eau, et déchargées au moyen d'une grue puissante installée par les soins du ministère de la marine, en face du hangar des machines marines françaises.

§ 4. — Réception des colis.

Admission des colis aux portes du Champ de Mars. — Les colis amenés à l'Exposition par les exposants eux-mêmes, ou

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

par leurs agents, étaient admis aux portes d'entrée, sur la présentation d'un laissez-passer délivré par l'un des délégués de la classe. L'exposant ou son agent dirigeait les colis sur la place assignée à ses produits

Réception des colis destinés au Palais. — Les colis, expédiés en destination de l'Exposition arrivaient, par les soins des compagnies de chemins de fer, dans les conditions suivantes, fixées par l'arrêté du 16 juin 1866. Les colis pesant moins de 1,200 kilogrammes étaient conduits par camions, les colis pesant isolément 1,200 kilogrammes et au-dessus, par le chemin de fer de Ceinture et l'embranchement du Champ-de-Mars. Les parties d'un même tout, telles que les pièces d'une machine, lorsqu'elles pesaient les unes plus, les autres moins de 1,200 kilogrammes, pouvaient être réunies dans une même expédition, et conduites par chemin de fer. Les wagons complets, en provenance de l'étranger, plombés en douane, et adressés aux commissaires étrangers, étaient amenés par le chemin de fer de Ceinture et remis, sur la voie de ceinture de l'Exposition, aux délégués des commissaires, lesquels pourvoyaient alors au déchargement et à la distribution du contenu de ces wagons.

Le déchargement des colis transportés par camions et expédiés par les compagnies de chemins de fer s'opérait aux divers lieux de réception indiqués plus loin, le surplus des déplacements auxquels les colis pouvaient être soumis restant à la charge des exposants. Lorsque l'emploi des grues était nécessaire, le déchargement et la livraison s'effectuaient à la grue fixe la plus rapprochée du lieu de la destination définitive des colis.

Les wagons étaient conduits, sur les voies de l'Exposition, jusqu'au point le plus rapproché de la destination, puis déchargés au moyen de grues roulantes, ou, à défaut de ces engins, à la grue fixe la plus voisine.

La réception des colis contenant des produits qui devaient prendre place dans le Palais se faisait sous le promenoir

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

extérieur, et, autant que possible, sur la façade du secteur où était situé l'emplacement qui leur était assigné. Il n'était fait d'exception que pour les colis introduits par chemin de fer dans la galerie des Machines et destinés soit à cette galerie, soit à la galerie contiguë, dite des Matières premières. La réception de ces colis avait lieu au point de la voie ferrée le plus rapproché de leur emplacement définitif.

Réception des colis destinés au parc, à la berge ou au jardin réservé. — Les colis contenant des produits destinés à être placés dans le Parc étaient reçus dans les avenues, allées ou boulevards du Parc, au point le plus rapproché de l'emplacement où devaient figurer les produits.

Les colis en destination de la berge ou du jardin réservé étaient reçus dans les emplacements respectifs des exposants.

Quittance de décharge. — C'est sur les divers points que nous venons d'indiquer pour la réception des colis que les délégués des exposants en signaient décharge aux compagnies de chemins de fer. La quittance de décharge pouvait toutefois être signée par leur agent ou leur entrepreneur de manutention, quand la déclaration préalable en avait été faite par écrit aux compagnies intéressées.

§ 5. — Déchargement des colis.

Modes et engins de déchargement des colis. — Les colis ont été déchargés, soit à bras, soit à l'aide de plans inclinés formés simplement de madriers, soit à l'aide de chantiers, composés de pièces de charpente superposées, soit enfin à l'aide de grues.

Ce dernier mode de déchargement, de beaucoup le plus employé, présentait, avec l'avantage de la célérité, celui de la sécurité et de la facilité de mise en place des colis. Vingt-deux appareils de levage, répartis comme il suit, ont concouru au déchargement :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Grues fournies par la Commission Impériale, louées par elle ou mises gratuitement à sa disposition par les exposants.....	15
Grues employées par les puissances étrangères.....	4
Grue de 30 tonnes, de la maison Cail, sur le port de Grenelle (1).	1
Grue Claparède, de 45 tonnes, installée sur la berge de la Seine, pour la manutention des pièces destinées au hangar des machines marines françaises.....	1
Grue de l'administration de la manutention du commerce.....	1
Total.....	22

Il faut ajouter à ces grues certains appareils de levage, installés pour des manutentions spéciales, tels que la grue en fer employée au déchargement et à la mise en place du bloc d'acier et du canon de la maison Krupp, et le charriot de montage du pavillon de l'exposition du Creusot.

Grues de la Commission Impériale. — Fidèle au principe qui l'a guidée dans toute l'organisation de l'Exposition, la Commission Impériale fit appel, pour la fourniture des grues, aux exposants français et étrangers. Elle les invita, au lieu de laisser leurs appareils à l'état de repos, dans la classe 53, à les utiliser au déchargement des colis. Elle transformait ainsi cette opération de la manutention en une expérience quotidienne de plusieurs mois de durée, où toutes les qualités des appareils de levage devaient se trouver mises en relief.

Les exposants français répondirent à cet appel; parmi les puissances étrangères, l'Angleterre seule s'engagea à opérer

(1) Poids, par séries, des colis déchargés à la grue de la maison J.-F. Cail et Cie.

1re SÉRIE 1 A 5 TONNES.	2e SÉRIE 5 A 10 TONNES.	3e SÉRIE 10 A 15 TONNES.	4e SÉRIE 15 A 20 TONNES.	5e SÉRIE 20 A 40 TONNES.
200 tonnes.	74 tonnes.	179 tonnes.	91 tonnes.	103 tonnes.
TOTAL..... 647 tonnes.				

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sa manutention avec ses propres ressources. Le nombre des appareils offerts par les exposants se trouva insuffisant, et la Commission Impériale dut aviser. Elle s'adressa alors directement à des constructeurs, et leur loua des appareils déjà construits ou qu'elle leur commanda. C'est ainsi que la maison Martin aîné et Calrow (1) fournit à la Commission Impériale quatre grues de 10 tonnes, et la maison anglaise Stothert et Pitt, de Bath, une grue à vapeur de 6 tonnes. Un traité avait été conclu avec un troisième entrepreneur pour la fourniture de trois grues à vapeur, l'une de 2,000 kilogrammes, les deux autres de 4,000 kilogrammes, mais des circonstances imprévues ne lui permirent pas de les livrer en temps opportun. Ces entrepreneurs reçurent également le titre d'exposants, et leurs appareils furent admis dans la classe 52.

Les grues dont la Commission Impériale put disposer furent ainsi :

Grues fixes.

Grues de 10 tonnes, à étais, de la maison Martin aîné et Calrow	4
Grue de 6 tonnes, fournie par M. Neustadt, système de cet exposant	1
Grues de 10 tonnes, type de la Compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée, de la maison Hte Vivaux et Cie	2
Grue de 6 tonnes, type de la même compagnie, de la même maison	1
Grue de 6 tonnes, sans fondations, type de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, de la même maison	1
Total	9

Grues roulantes.

Grue de 3,000 kilogrammes, à équilibre constant et contre-poids automoteur, de la Société anonyme des Hauts-Fourneaux de Maubeuge	1
A reporter	1 9

(1) Actuellement Weyher, Loreau et Cie.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Report.....	1	9
Grue à force variable, de 2,000 à 4,000 kilogrammes, de la maison J.-F. Cail et Cie.....	1	
Grues de 4,000 kilogrammes, type de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, de la maison Hte Vivaux et Cie.....	2	
Grue de 2,000 kilogrammes, de la maison Ricot-Patret.....	1	
Grue à vapeur, de 6 tonnes, de la maison Stothert et Pitt, de Bath.....	1	
Total.....		6
Total des grues fixes et roulantes.....		15

Grues de la section anglaise. — L'Angleterre avait à sa disposition quatre grues roulantes à vapeur de 5 à 6 tonnes, fournies par les maisons A. Shanks et fils, Appleby frères, de Londres, G. Russel et fils, de Glasgow, James Taylor et Cie, de Birkenkead.

Toutes les grues que nous venons de citer, soit dans le dernier tableau, soit précédemment, font partie de la classe 52, à l'exception de la grue roulante de la maison Cail, de la grue fixe construite par la manutention de la Chambre de commerce, de la grue Claparède et de la grue Cail du quai de Grenelle.

Répartition des grues de la Commission Impériale et organisation de leur service. — En ce qui concerne les grues fixes, la Commission impériale s'attacha à les répartir de manière à assurer dans les conditions les plus avantageuses, à l'arrivée, le déchargement, et, lors de la réexpédition, le chargement des wagons et des camions; elle en disposa sept autour du Palais, et à proximité des portes, pour réduire les distances de transport. Deux grues de 10 tonnes furent également installées, l'une dans le Parc, à l'entrée du boulevard du Nord, pour desservir les annexes de ce boulevard, l'autre, sur la berge de la Seine, en aval du pont d'Iéna, entre le tunnel et le hangar des pompes de la classe 53. Quant aux grues roulantes, elles n'avaient pas d'emplacements déterminés,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

mais elles étaient spécialement affectées au service de l'intérieur du Palais, où il avait été impossible d'installer aucune grue fixe, et circulaient sur tout le réseau de la galerie des machines.

Les grues fixes et roulantes furent mises gratuitement à la disposition des commissaires étrangers, des exposants et des entrepreneurs de manutention, sous leur responsabilité, et sous la surveillance des agents de la Commission impériale. Dans la section française, la Compagnie de l'Ouest devait, en vertu de ses traités, le déchargement à pied-d'œuvre des colis amenés par voie ferrée; les grues roulantes affectées spécialement à cette section lui furent données en charge. Le chef du service du Groupe VI, dans les attributions duquel rentraient et le service de la voie ferrée et celui des grues, et le chef de gare, sous ses ordres, seuls, disposaient des appareils, en assuraient la répartition et autorisaient, au besoin, les commissaires étrangers, les exposants ou les entrepreneurs de manutention à employer temporairement, pour le déchargement et le montage, les grues de la section française, lorsqu'elles se trouvaient inutilisées par la Compagnie de l'Ouest.

Pour faciliter la surveillance du travail des appareils, chacun avait été désigné par une lettre ou un numéro peint sur la flèche. A la suite de ce numéro ou de cette lettre, était également inscrit le poids maximum que l'appareil pouvait soulever. La Commission Impériale avait rédigé, pour la manœuvre, une consigne affichée sur chaque engin. Toute avarie, provenant d'infraction aux prescriptions de cette consigne, devait être mise à la charge des personnes auxquelles les grues avaient été confiées; mais, en fait, cette responsabilité a été presque toujours éludée, et l'entretien des appareils s'est effectué généralement par les soins des constructeurs eux-mêmes, qui avaient presque tous, en permanence au Champ de Mars, un ouvrier chargé du nettoyage, du graissage, et, au besoin, de la réparation des avaries. Malgré toutes les prescriptions de la Commission Impériale et la surveillance de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ses agents, la plupart de ces grues eurent beaucoup à souffrir. Leur manœuvre était trop souvent confiée à des ouvriers inexpérimentés, sans connaissance de l'appareil dont ils se servaient. De plus, les déchargements s'opéraient au milieu de l'embarras des colis, de l'encombrement et de la confusion des chantiers, et quelquefois avec une extrême précipitation.

§ 6. — Déballage.

Aux termes des règlements, le déballage des colis devait se faire sur les divers points que nous avons signalés pour leur réception et leur déchargement. La Commission Impériale avait espéré que l'on aurait pu déballer sous le promenoir et les portiques extérieurs les colis destinés aux galeries II, III, IV, V et VII, et les colis destinés à la galerie VI, dont le poids n'aurait pas excédé 1,200 kilogrammes.

Aucun de ces colis n'aurait ainsi pénétré dans le Palais; les produits empaquetés, extraits, auraient été transportés immédiatement, soit sur des chariots ou des rouleaux, soit au moyen de paniers, et déposés à la place même de l'exposant. On ne devait admettre d'exception que pour les colis destinés au musée de l'Histoire du Travail et à la galerie des œuvres d'art, que l'on aurait déballés dans leurs salles respectives, où la place était moins strictement mesurée qu'ailleurs.

Ces dispositions, qui interdisaient l'entrée du Palais aux caisses et aux matériaux d'emballage, présentaient, aux yeux de la Commission Impériale, l'avantage incontestable d'éviter l'encombrement dans les salles et la poussière, et en outre de prévenir les chances d'incendie en éloignant de l'intérieur du Palais les matériaux combustibles dont l'accumulation pouvait créer un danger permanent.

L'inachèvement d'un certain nombre d'installations intérieures et l'encombrement, en certains points, du promenoir par les entrepreneurs des restaurants, ne permirent qu'une exécution incomplète de cette mesure qui cependant, même

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

contreinte, dans ses applications n'a pas laissé que produire de sérieux avantages.

§ 7. — Réexpédition.

Sortie des produits. — Pour la réexpédition des produits, les chargements et les transports se sont opérés dans des conditions analogues à celles des transports et des déchargements à l'arrivée. L'introduction, dans l'enceinte du Champ de Mars, des caisses vides, des matériaux d'emballage, des camions et des véhicules de toute sorte, a commencé dès le 1er novembre, et la voie ferrée, rétablie dès les premiers jours du même mois, a fonctionné le 12.

Aucun objet ne pouvait sortir du Champ de Mars sans un bulletin de sortie. Pour les exposants français, le bulletin devait être signé par l'exposant ou son agent dûment accrédité, par le délégué de la classe et par un chef de service de la Commission Impériale. S'il s'agissait d'un exposant étranger, le bulletin de sortie était délivré et signé par le commissaire de la section, et, en outre, visé par le directeur de l'administration des douanes, par le directeur de la manutention de la Chambre de commerce et par le chef de service de la section étrangère.

Expéditions par chemins de fer. — Les transports par chemins de fer se sont effectués, comme à l'arrivée, aux prix et conditions du tarif spécial défini par l'arrêté ministériel du 16 juin 1866.

Pour jouir de la réduction accordée par ce tarif, les exposants français devaient remettre, à la gare du Champ de Mars, un bulletin d'expédition, mentionnant le nom de l'exposant, le nom et l'adresse du destinataire, le poids des colis et la nature de leur contenu. Ce bulletin était signé par l'exposant ou son agent. Dans le cas où le colis était camionné et remis à une autre gare que celle de l'Exposition, le bulletin devait être certifié exact par l'un des délégués de la classe de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'exposant ou par l'ingénieur du syndicat de cette classe. Le bulletin d'expédition des exposants étrangers était signé par le commissaire de la section et contenait seulement la mention sommaire des objets et de leur poids.

A l'arrivée, les transports se faisaient en port payé. Pour la réexpédition, dans un but de simplification, ils ont eu lieu en port dû. Les poids mentionnés sur le bulletin d'expédition servaient seulement de base à la détermination des prix de transport, et étaient vérifiés, et les taxes rectifiées, s'il y avait lieu, à la gare d'arrivée. Les wagons complets, à destination de l'étranger, étaient expédiés, plombés en douane, par la voie de l'Exposition et le chemin de fer de Ceinture, quel que fût le poids de leur contenu. Les commissaires étrangers en opéraient le chargement, à leurs frais, risques et périls; les Compagnies demeuraient exemptes de toute responsabilité au sujet de ce chargement. Les agents de la Compagnie de l'Ouest recevaient ces wagons sur les voies et en donnaient décharge après avoir vérifié, contradictoirement avec les agents des commissions étrangères, le conditionnement extérieur des véhicules, l'état des plombs, cachets, cadenas et autres fermetures autorisées par la douane; remise leur était en même temps faite des pièces de douane et du bulletin de sortie devant accompagner ces wagons.

Les colis à transporter par l'embranchement du Champ de Mars et le chemin de fer de Ceinture étaient amenés, par les soins et aux frais des délégués des exposants, des exposants eux-mêmes ou des commissaires étrangers, soit au pied des grues fixes et roulantes, lorsque le chargement devait être fait au moyen de ces appareils, soit au pied des wagons destinés à les recevoir. Les colis qui devaient être camionnés par les soins des Compagnies, du Champ de Mars aux gares de départ de Paris, étaient amenés dans les mêmes conditions jusqu'au point où les camions pouvaient s'avancer pour venir les prendre.

Les wagons vides étaient conduits par la Compagnie de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

l'Ouest et repris par elle après leur chargement, tant dans la section française que dans les sections étrangères, au point le plus rapproché de l'emplacement occupé par les objets à expédier. Il n'était fait d'exception à cette règle que pour les wagons dont les dimensions excédaient celles qui convenaient aux plaques tournantes, ou pour le cas d'encombrement des voies extérieures.

La livraison des wagons vides avait lieu dans l'ordre nécessaire pour que la conduite, le chargement et l'enlèvement de ces wagons pût s'opérer avec régularité et rapidité, ainsi que sans fausses manœuvres.

Le nombre de wagons distribués aux Commissaires étrangers était déterminé de façon à éviter l'encombrement et à respecter la circulation sur la voie extérieure, réservée aux mouvements des trains.

D'ailleurs, les réexpéditions par le chemin de fer du Champ de Mars ont été loin d'atteindre l'activité qui avait signalé les arrivages. Au départ, le camionnage a pris un développement considérable; vers le 25 novembre, époque où l'enlèvement des produits pouvait être considéré comme presque terminé, les expéditions par la ligne du Champ de Mars montaient à peine à trois cents wagons. A cette date, l'Angleterre, qui avait expédié directement à l'Exposition plus de cinq cents wagons, n'en avait livré que trente environ à la Compagnie de l'Ouest, presque tous ses colis ayant été camionnés aux gares têtes de ligne. Nous ne croyons pas être loin de la vérité, en estimant que le total des réexpéditions, par le chemin de fer de Ceinture, ne dépassera pas le chiffre de sept cents wagons : il en a été reçu deux mille à l'arrivée.

Grues employées au chargement des colis. — Quant aux appareils de levage qui ont concouru au chargement des colis, ils figurent presque tous sur la liste des grues employées aux déchargements, que nous avons donnée plus haut.

Comme grues nouvelles, mises à la disposition du service de la manutention pour les réexpéditions, nous citerons la

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

grue fixe de dix tonnes, à chaîne de galle, de MM. Weyher, Loreau et Cie (1), qui n'avait pu être montée assez à temps pour être utilisée au déchargement des colis, et la grue-camion de M. Leblanc, de la force de 1,200 kilogrammes. Par contre, deux des grues roulantes, précédemment employées, ont fait défaut : la grue Cail, à force variable, et la grue de la Société des hauts fourneaux de Maubeuge.

§ 8. — Résumé.

En résumé, la manutention de l'Exposition Universelle de 1867 s'est distinguée de la manutention des Expositions précédentes par l'abstention de la Commission Impériale, si ce n'est pour la direction et le contrôle, et par la suppression du monopole d'entreprise. Chaque exposant est demeuré entièrement libre, tant dans ses relations avec les Compagnies de chemins de fer que dans le choix des entrepreneurs ou des agents de manutention. La Commission Impériale n'est intervenue que pour réglementer les différentes opérations de la manutention générale, et assurer le bon ordre et la régularité du service.

Nous estimons que la manutention de l'Exposition Universelle de 1867, malgré quelques encombrements, de courte durée d'ailleurs, inévitables dans les conditions spéciales où s'opère une manutention d'exposition, s'est effectuée d'une manière aussi satisfaisante que possible.

Le chemin de fer, établi dans le Champ de Mars et dans l'intérieur du Palais, a singulièrement facilité les opérations, en permettant de décharger la plus grande partie des colis

(1) Cette grue, placée dans l'espace découvert, attribué à la Classe 53, allée du Maroc, a desservi cette Classe, ainsi que la Classe 65, qui avait un emplacement contigu à la Classe 53. Elle avait été installée, de manière à permettre le chargement direct des wagons sur la voie principale du chemin de fer du Champ de Mars.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

au point même où les produits qu'ils renfermaient devaient prendre place, et de diviser ainsi les déchargements au lieu de les localiser en quelques points, comme dans les expositions précédentes, et notamment à Londres en 1862, pour la section française. Joignons à cet avantage considérable celui d'éviter tout transbordement pour les colis venant de l'étranger et les colis français les plus lourds, et de réduire la manutention de presque toutes les pièces les plus encombrantes et les plus pesantes à un simple déchargement, à l'aide de grues.

Si maintenant nous jetons un coup d'œil sur les documents officiels des Expositions de 1855 et de 1862, nous y trouvons les chiffres statistiques suivants.

En 1855 :

Nombre des colis reçus et provenant des pays étrangers, de la Corse et des colonies françaises.....	18,070 colis.
Poids des colis importés des pays étrangers, de la Corse et des colonies françaises.....	3,746 tonnes.115

Le nombre des exposants et le poids des produits se sont répartis comme suit :

DÉSIGNATION DES SECTIONS.	NOMBRE DES EXPOSANTS.	POIDS DES PRODUITS.	VALEUR DES PRODUITS.
Paris et départements..	10,950	4,367t452	38,133,304f
Colonies françaises.....	119	1 500	25,000
Algérie.....	741	7 563	51,200
Empire français.....	11,810	4,376 515	38,209,504
Pays étrangers.....	10,433	3,715 282	36,790,496
Totaux.....	22,243	8,091 797	75,000,000

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Les frais de manutention, payés par la Commission Impériale de 1855, se sont élevés à la somme de 700,113 fr. 25 c., qui se décompose de la manière suivante :

Transport des produits de l'industrie.....	414.175f 22	
Transport des œuvres d'art.....	8,789 58	
	422,964f 80	422.964f 80
Manutention des produits de l'industrie. — Équipes pour le déchargement, le déballage, le réemballage et la réexpédition des colis...	272,668f 45	272,668 45
Location d'un emplacement pour le dépôt des caisses d'emballage.....	4,500 00	4,500 00
Total des frais de manutention.		700,133f 25

En 1862, pour la section française seule, nous trouvons les chiffres consignés au tableau suivant :

DÉSIGNATION DES SUBDIVISIONS de la section française.	NOMBRE des EXPOSANTS.	NOMBRE des COLIS.	POIDS brut DES COLIS.	VOLUME des COLIS.	VALEUR DÉCLARÉE.
Paris et départements...	4,671	6,886	2,192t 306	6,520,940	17,803,635f
Algérie.....	579	160	16 000	96.000	50.000
Colonies.....	271	103	10 300	60,000	30,000
Totaux.....	5,521	7,149	2,218t 606	6,676,940	17,883,635

Les frais de manutention se sont élevés à 286,338 fr. 67 c. ; dont 222,397 fr. 39 c. pour les transports, et 63,941 fr. 28 c. pour la manutention, l'emmagasinage des caisses vides, les assurances et les dommages et indemnités.

A l'Exposition de 1867, les arrivages, par voie ferrée, dans le Champ de Mars, se sont élevés, pour toutes les sections, à 10,000 tonnes de colis, répartis en 2,000 wagons, et à plus de 60,000 colis amenés sur camions. La dépense totale de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

manutention, à la charge de la Commission Impériale, n'a pas dépassé 100,000 francs, dont 80,000 pour le chemin de fer et 20,000 pour les appareils de levage.

Il nous reste maintenant à examiner les systèmes des différents appareils de levage que nous avons énumérés plus haut, ainsi que la manière dont ils ont fonctionné; cette étude est l'objet de la seconde partie de ce rapport.

CHAPITRE II.

APPAREILS DE LEVAGE EMPLOYÉS AU DÉCHARGEMENT ET AU CHARGEMENT DES COLIS.

§ 1. — Grues fixes.

Grues de la maison H^te Vivaux et C^ie. — Les grues fixes ont été fournies, comme nous l'avons dit en parlant de la manutention, par la maison H^te Vivaux et C^ie, de Dannemarie-sur-Saulx, la maison Martin aîné et Calrow, et M. Neustadt, de Paris.

Les grues de la maison Vivaux sont construites sur deux types distincts. Le premier, étudié par la Compagnie des chemins de fer de l'Est, est représenté par la grue de 6 tonnes, sans fondations. La grue est assise sur le sol au moyen d'un plateau en fonte composé d'une couronne reliée à son moyeu par des rayons renforcés, ainsi que la couronne, de puissantes nervures; ce plateau repose sur une couche de sable destinée à répartir également la pression. Les intervalles, compris entre les rayons, sont remplis par de la maçonnerie de moellons (1).

Cette grue, dont le bâtis est en fonte et la flèche en bois,

(1) A l'Exposition, on employa pour exécuter ce remplissage, des déchets de moellons, dans les interstices desquels on coula de l'asphalte bouillant. La partie supérieure et apparente de cette maçonnerie spéciale, dont on s'est bien trouvé, fut arasée par un glacis d'asphalte.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

est à chaîne ordinaire et à noix. Les grues de 6 et 10 tonnes, établies sur le second type étudié par la Compagnie du chemin de fer de Lyon, sont à pivot tournant et reposant au fond d'un cuvelage en fonte noyé dans un massif de maçonnerie; le bâtis de ces grues est également en fonte; la flèche est en tôle. La charge est suspendue à l'extrémité d'une chaîne ordinaire, comme dans le type précédent, mais le tambour est substitué à la noix. Dans ces deux systèmes, le cliquet et le rochet du frein sont supprimés; le frein agit constamment par l'effet d'un contre-poids, et présente ainsi plus de sécurité pour la descente du fardeau. Ces appareils ont les inconvénients inhérents à l'emploi des chaînes ordinaires : manque de sécurité résultant des défauts qui peuvent se présenter dans le fer ou dans les soudures des maillons. En outre, la manière dont la chaîne ordinaire travaille en s'enroulant sur les tambours ou en s'engrenant avec des noix, tend à manifester les moindres vices de matière ou de fabrication.

Dans la grue à tambour, la chaîne s'enroule sur un cylindre cannelé ou non cannelé, et elle est tirée obliquement à l'origine et à la fin de l'enroulement; elle ne se trouve tendue directement qu'au moment où l'enroulement se produit au milieu de la longueur du tambour. Le passage des maillons sur la poulie de la flèche, puis leur enroulement avec traction oblique sur le tambour, sont des causes de chocs continuels provenant tant de la nécessité pour la chaîne, dont les contours sont irréguliers, d'épouser la gorge de la poulie de la flèche, que de la position des maillons, au moment où ils arrivent au tambour. Cette disposition ne coïncide pas toujours avec les cannelures, et les maillons, déjà serrés contre les tambours, ne peuvent plus se loger qu'en donnant lieu à des chocs prononcés qui fatiguent singulièrement la chaîne. Quand le tambour est sans cannelures, la chaîne qui s'enroule monte fréquemment sur les spires déjà enroulées, et ne s'en échappe qu'en produisant également des chocs dangereux. D'autre part, les tambours à cannelures usent les chaînes

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

qui se coupent sur les bords des cannelures où le tirage oblique établit un frottement énergique.

L'emploi de la noix supprime une partie des inconvénients du tambour et notamment la traction oblique, mais use encore plus la chaîne ordinaire. Pour épouser les contours de la noix, la chaîne est assujettie à une articulation des maillons qui produit une usure rapide aux points de contact de ces maillons, où se trouvent précisément les points de soudure. De plus, dans les appareils à noix, le dévirage au frein est dangereux par suite des chocs auxquels il donne naissance. Les inconvénients que nous signalons et les accidents qu'ils entraînent se sont produits plusieurs fois, pendant la manutention, avec les appareils précédents. La chaîne de la grue de 6 tonnes, sans fondations, s'est brisée durant un dévirage au frein, et le guide en fonte, qui force les maillons de la chaîne à s'engager dans la denture de la noix, s'est également brisé en faisant sauter la partie du bâtis en fonte sur laquelle il est boulonné. La rupture de ce même guide s'est produite aussi plusieurs fois sur les grues roulantes de 4 tonnes, également à noix, de la même maison (1).

En apportant une surveillance minutieuse à la fabrication des chaînes ordinaires, et en n'adoptant que des chaînes essayées à une charge beaucoup plus considérable que celles qu'elles sont réellement destinées à supporter, on pourra évidemment atteindre une sécurité relative presque suffisante. Aujourd'hui, ces chaînes sont d'un emploi beaucoup plus commun dans les appareils de levage que les chaînes de galle; nous croyons, toutefois, que la supériorité de ces dernières n'en est pas moins appréciée (2), et qu'elles prendront le pas sur

(1) La Compagnie de l'Est étudie en ce moment un nouveau système de guide qui permettra un ajustage plus précis de cette pièce par rapport à l'arbre de la noix et diminuera ainsi les chances de coïncement de la chaîne entre la noix et le guide, cause de presque toutes ces ruptures.

(2) 963 appareils de levage, à chaîne de galle, présentant une force totale de 5,300 tonnes et une valeur de 7,800,000 francs ont été établis de 1855 à 1867, tant en France qu'à l'étranger, par l'inventeur du système.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

les autres, dès que le brevet qui en entrave l'application sera tombé dans le domaine public. Hâtons-nous, toutefois, de répéter ce que nous avons dit précédemment, que ces appareils ont été aussi maltraités que possible par les ouvriers inexpérimentés qui les manœuvraient, et qu'il est indubitable que les chances d'accidents doivent se réduire, dans une large proportion, quand ces grues fonctionnent dans de grands établissements industriels ou dans les gares d'une Compagnie de chemin de fer, où la manœuvre peut en être confiée à des hommes exercés, sous une surveillance incessante, et peut s'opérer dans des limites de temps qui ne se trouvent jamais aussi restreintes qu'à une exposition. Ces grues sont d'ailleurs de formes bien étudiées, tant au point de vue de l'élégance que de la répartition de la matière, en vue des efforts à subir, et leur construction soignée fait honneur à la maison Vivaux.

Grues de la maison Martin aîné et Calrow, et de M. Neustadt. — Dans les grues exposées par la maison Martin et Calrow, et par M. Neustadt, du système de cet ingénieur, le tambour et la noix sont supprimés et remplacés par un pignon denté qui engrène avec une chaîne de galle, substituée à la chaîne ordinaire. Le pignon est enveloppé d'une boîte qui guide la chaîne de galle dans son engrènement et la dirige, après son passage sur le pignon, soit dans une gaîne, soit dans un caisson, de manière à éviter la gêne qu'occasionnerait, pour le service de la grue, le développement de la chaîne sur le sol, à la sortie de la boîte du pignon, et, en même temps, pour mettre cette chaîne à l'abri de toute avarie.

Nous pensons que les avantages présentés par ce système sont considérables. La substitution du pignon au tambour et à la noix, et de la chaîne de galle à la chaîne ordinaire, suppriment toutes les causes de rupture que nous avons énumérées en parlant des chaînes ordinaires employées dans les appareils précédents.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La chaîne de galle ne comporte aucune soudure ; la section de chaque maillon présente deux ou plusieurs groupes de lames juxtaposées, et il y a bien moins à redouter, pour cette chaîne, les vices de matière qui peuvent attaquer profondément, mais d'une manière invisible à l'extérieur, les anneaux des chaînes ordinaires. Aussi, après s'être assuré de la qualité des tôles et des fers employés dans la construction de la chaîne de galle, on sera certain de sa solidité. Les chaînes qu'emploie M. Neustadt sont calculées de manière à ne travailler qu'à 8 kilogrammes par millimètre carré de section ; elles sont en tôle au bois d'Audincourt ou de qualité équivalente. Elles sont essayées à quatre ou cinq fois la charge maximum qu'elles doivent supporter, et, d'après des expériences faites, sous ces charges excessives, elles ne cassent pas brusquement comme les chaînes à anneaux, mais préviennent, en quelque sorte, par la rupture successive des lames. Le pignon à chaîne est placé dans l'axe de l'appareil de levage, le tirage est donc toujours direct ; les poulies dentées, sur lesquelles passe la chaîne de galle, sont parfaitement emboîtées par cette chaîne qui y circule, ainsi que sur le pignon, sans éprouver le plus léger choc. Nous citerons encore d'autres avantages de l'emploi de la chaîne de galle : la faculté que présente cette chaîne, de pouvoir être allongée d'une manière indéfinie, sans compliquer le mécanisme, la simplification des engrenages, la diminution de toutes les dimensions des appareils, par suite de la réduction des engrenages et de la suppression du tambour, l'application facile de la poulie mouflée.

Au point de vue de la manœuvre des grues sans tambour, nous ferons également remarquer que la transmission de mouvement de ces appareils ne comporte que deux arbres seulement pour des puissances supérieures, jusqu'à 35 tonnes, tandis que les appareils à chaîne ordinaire portent en général trois arbres pour les forces de 10 à 25 tonnes et cinq arbres au delà. Cette différence tient à ce que le rapport entre les diamètres des tambours et des pignons à chaînes de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

galle, pour des engins de même force, est en général de un à trois.

Malgré cette grande simplification, les grues Neustadt se trouvent dans de très-bonnes conditions, sous le rapport de l'effort à appliquer aux manivelles pour soulever le maximum de charge. Cet effort varie de 20 à 32 kilogrammes pour les appareils de force ordinaire, jusqu'à 6 tonnes, mus à bras ; il est de 32 kilogrammes pour ceux du même genre, mais de 6 à 35 tonnes. Dans les grues de M. Neustadt, nous avons de plus constaté une tendance heureuse à restreindre, autant que possible, l'emploi de la fonte ; deux des grues exposées sont complétement en tôle ou en fer à double T, à l'exception de quelques pièces, telles que les pièces de mécanisme, dont les formes ne peuvent s'obtenir économiquement qu'au moulage. La grue de 6 tonnes, de l'avenue de Bourgogne, est à pivot tournant, et en fer à double T, d'un mode de construction rationnel, simple et économique. Celle de 10 tonnes, située sur l'emplacement à découvert de la classe 53, allée du Maroc, est également à pivot tournant, mais tout en tôle ; le cuvelage seul est en fonte. C'est le type adopté par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, créé il y a quelques années par M. Neustadt, pour l'arsenal de Lorient, et amélioré depuis par la Compagnie. En dehors de toute considération de système, les deux appareils sont très-remarquables par leur construction soignée et bien étudiée.

MM. Martin aîné et Calrow ont fourni à la Commission Impériale quatre grues de 10 tonnes dignes d'examen, et sur lesquelles nous croyons devoir entrer dans quelques détails, ces appareils ayant été construits spécialement en vue du service de l'Exposition et commandés directement par la Commission Impériale. Les conditions imposées aux constructeurs étaient l'économie et la célérité du premier établissement et du démontage des appareils, dont la force était fixée à 10 tonnes. Ces conditions se trouvaient naturellement imposées par la nécessité de pouvoir transporter, au besoin, les engins

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sur tel ou tel point où leur présence deviendrait utile, et par la durée très-limitée de leur service.

La maison Martin aîné et Calrow trouva heureusement la solution du problème, pour la manœuvre du fardeau, dans l'application du système à chaîne de galle de M. Neustadt, pour la facilité d'installation, de démontage et de transport, et pour l'économie, dans l'adoption du type de grue à pivot tournant, maintenue par des étais. La mobilité de l'appareil fut obtenue en remplaçant les fondations par un châssis en bois, présentant la forme d'un triangle rectangle isocèle. Au sommet de l'angle droit vient reposer le pivot, et les deux étais vont s'accrocher chacun à l'un des autres sommets du triangle. Pour consolider le châssis, deux pièces de charpente et un tirant en fer relient le sommet de l'angle droit, au milieu du côté opposé, afin de résister aux efforts de compression et de traction qui peuvent se produire à la crapaudine, et tendre à disloquer le châssis. Le pivot est en tôle; les étais et la flèche, comme le châssis, sont en bois ; tous les assemblages de charpente susceptibles de se disjoindre, par suite d'efforts de traction sont soigneusement consolidés au moyen de ferrures. La tôle, le fer forgé et le bois sont presque exclusivement employés dans la construction de ces appareils; la fonte en avait été, autant que possible, rejetée, en prévision des chocs que les grues devaient nécessairement avoir à subir dans les conditions où elles étaient destinées à fonctionner, et à cause des délais extrêmement courts de livraison. La répartition de la matière est étudiée avec soin, tant au point de vue de l'économie que dans le but de faciliter le montage et le transport des appareils. Les treuils permettent l'emploi de deux vitesses, l'une pour une charge de 10,000 kilogrammes, l'autre pour une charge de 5,000, et sont munis d'un débrayage et d'un frein capable de maîtriser brusquement une charge de 12 tonnes. Enfin, la chaîne s'emmagasine dans le pivot, condition importante de durée, de bon fonctionnement et de simplification dans l'ensemble des appareils.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Quatre jours ont suffi pour l'installation de chacune de ces grues ; un jour est nécessaire pour préparer le sol, le fouiller de 0^{m}80 à 1 mètre de profondeur, y répandre une couche de sable de 0^{m}60 à 0^{m}80 d'épaisseur. Les châssis sont simplement posés sur cette forme bien battue, et qu'il serait bon d'arroser fortement d'avance à plusieurs reprises, pour provoquer le tassement du sable ; leur horizontalité se règle simplement par un calage aux trois angles, à l'aide de quelques planches. Le châssis peut recevoir, comme contre-poids, toute espèce de matériaux pesants ; à l'Exposition, ces contre-poids furent formés par des gueuses en fonte disposées au pied des étais. Le démontage et le transport sont extrêmement faciles. La grue qui desservait la Belgique et l'Allemagne, avenue d'Europe, dut disparaître pour l'ouverture de l'Exposition. Elle fut démontée complétement en une nuit, et dans la matinée du lendemain, avant dix heures, tout le matériel put être enlevé en un seul transport.

Le service de ces grues ne laissa rien à désirer. Pendant toute la durée de la manutention, aucun accident ne survint aux divers organes des appareils. Le seul reproche qu'on puisse leur adresser, et qui s'adresse au type lui-même, c'est que, à cause des étais, la flèche ne peut faire plus de deux tiers de révolution, et que ces étais peuvent être gênants pour la circulation. Mais, à l'Exposition, la disposition des emplacements où ces grues avaient été mises en fonctionnement rendait inutile la rotation entière et le dégagement complet de l'appareil. L'application du système était donc, dans l'espèce, parfaitement logique et présentait réellement, non-seulement une économie importante sur toute application d'un autre système, mais aussi tous les avantages propres à un appareil simple de dispositions, solide, commode à manœuvrer et facile à déplacer.

Nous ajouterons que ces grues, en location pour dix mois, ont été payées 4,000 francs chacune par la Commission Impériale, y compris pose, dépose, entretien et fourniture de gueuses

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

en fonte servant de contre-poids. Elles pourraient coûter d'achat de 5 à 6,000 francs.

§ 2. — Grues roulantes à bras.

Grues de la maison H^te Vivaux et C^ie. — Parmi les grues roulantes mues à bras, celles qui rendirent le plus de services à la manutention furent les deux grues de 4,000 kilogrammes, type adopté par la Compagnie des chemins de fer de l'Est (1), exposées par la maison H^te Vivaux et C^ie. Nous ne pourrions que répéter, au sujet de ces appareils, les observations que nous avons émises en parlant des grues fixes de la même maison : mêmes inconvénients résultant de l'emploi de la chaîne ordinaire et des noix ; d'un autre côté, mêmes éloges à adresser, tant pour le soin avec lequel ces grues ont été étudiées que pour leur construction. A l'Exposition, le poids de la plupart des colis à manœuvrer ne dépassait pas 4,000 kilogrammes ; de là le service continu de ces deux grues roulantes, établies pour soulever spécialement des charges de ce tonnage. De plus, leur déplacement s'opérait facilement, soit à bras d'homme, soit à l'aide d'un cheval, et leur flèche, qui pouvait s'abaisser rapidement, leur permettait de passer sous la plate-forme centrale et de fonctionner à volonté sur les deux voies de la galerie des machines.

(1) Une grue roulante de la même espèce figurait en 1855 dans l'exposition de la maison Pinart et C^ie, de Marquise. Cette grue, quoique présentant les perfectionnements les plus récents à cette époque, laissait encore beaucoup à désirer; elle était à tambour et à chaîne ordinaire, et ne comportait pas de frein. Sa stabilité était, de plus, insuffisante : un excès de fonte, à la partie supérieure du bâtis, relevait considérablement le centre de gravité de l'appareil. En 1857, M. Neustadt modifia le système en y appliquant la chaîne de galle. Il améliora le bâtis et le chariot, et disposa l'appareil de manière à permettre de l'atteler au besoin à la suite des trains d'exploitation. Les premières grues de M. Neustadt, construites, vers 1858, par la maison Fauconnier, Parent et Schaken, furent employées aux chemins de fer d'Orléans et des Ardennes. De 1862 à 1864, la maison Martin aîné et Calrow en fournit quatre au chemin de fer de l'Est. Les grues exposées ne diffèrent de ces dernières que par la substitution de la noix et de la chaîne ordinaire au pignon et à la chaîne de galle.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Grue de la Société anonyme des Hauts-Fourneaux de Maubeuge. — La grue de la Société anonyme des Hauts-Fourneaux de Maubeuge, de la force de 3,000 kilogrammes, à équilibre constant et à contre-poids automoteur (1), a été d'un emploi fort difficile. La queue en fonte, sur laquelle circule le contre-poids, présente une saillie au moins égale à la portée de la flèche. Il en résultait une impossibilité presque absolue de faire opérer à l'appareil, dans l'intérieur du Palais, une révolution complète sur lui-même, par suite du peu de largeur des chemins où la voie ferrée était établie. La manœuvre demandait les plus grandes précautions, tant dans l'orientation, pour ne pas aller heurter, soit les murailles de la galerie, soit les objets déjà mis en place, que pour monter ou descendre le fardeau. Ce système d'appareil, conçu d'après une idée ingénieuse, ne s'emploie commodément que sur les chantiers où l'on est libre de lui donner tout l'espace désirable pour sa libre évolution; on doit surtout lui reprocher le renversement inévitable de la grue, dans le cas de rupture

(1) Dans les grues ordinaires, le contre-poids est le plus souvent fixe et constant. Il est calculé de manière que son moment, par rapport à l'axe d'équilibre de la grue, soit au moins égal au moment, par rapport au même axe, du fardeau maximum que peut soulever l'appareil. Il en résulte une fatigue très-appréciable du pivot, toutes les fois que le moment de la charge est trop inférieur à celui du contre-poids, c'est-à-dire quand cette charge est plus faible que la charge maximum pour laquelle la grue est construite. Pour que la charge soit constamment en équilibre, il faut donc faire varier le moment du contre-poids suivant les variations du moment du fardeau. C'est ce qu'on essaie de réaliser dans quelques types de grues, en rendant le contre-poids mobile à la main sur la queue horizontale de l'appareil. Mais cette solution est imparfaite, le déplacement du contre-poids et l'appréciation du point convenable où il est nécessaire de le fixer, pour faire équilibre au poids à élever, demeurant confiés aux ouvriers chargés de la manœuvre.

La grue de la Société des Hauts-Fourneaux de Maubeuge résout complétement le problème, en faisant varier la position du contre-poids automatiquement et d'une quantité proportionnelle propre à faire équilibre au fardeau. Le contre-poids circule sur un chemin de roulement courbe, et son mouvement est rattaché au fardeau, qui devient alors le moteur et place lui-même le contre-poids au point voulu. La courbe de la queue de la grue est calculée suivant la force de l'appareil et la longueur possible des flasques, de façon que, pour un poids donné à élever, la tension que la chaîne reçoit de ce poids lui-même soit capable de faire monter le contre-poids à un point de la courbe tel que la grue soit en équilibre.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

d'élingue ou de chaîne, ou de chute de fardeau mal élingué, comme l'expérience l'a prouvé.

Plusieurs constructeurs ont d'ailleurs antérieurement étudié des grues fondées sur ce principe, dont l'application ne présente d'avantages pratiques que dans des grues roulantes de 7 à 10 tonnes.

Grue de la maison Ricot-Patret. — La petite grue de 2 tonnes de la maison Ricot-Patret, de Varigney, rendit peu de services par suite de sa faiblesse; elle ne présente de particulier que la disposition économique de son assiette : c'est une grue ordinaire, montée sur une plaque tournante dont la cuve est elle-même montée sur roues.

Grue-camion de M. Leblanc. — Cette petite grue, de la force de 1,200 à 1,500 kilogrammes, n'a été mise, comme nous l'avons indiqué précédemment, à la disposition de la Commission Impériale qu'au moment de la réexpédition. Son système ingénieux est appelé, croyons-nous, à rendre des services dans certains cas déterminés, et peut notamment être avantageusement utilisé par des industriels, soit pour des transports de pièces à grande distance, d'un atelier à l'autre, soit pour des transports de pièces ou de colis à livrer.

La grue de M. Leblanc est un camion muni d'un appareil de levage inhérent au camion lui-même. Deux montants verticaux, disposés de chaque côté du véhicule et entretoisés deux à deux à leur partie supérieure par des traverses, et un montant vertical à l'avant, près du cheval, soutiennent dans l'axe du camion un longeron qui fait, à l'arrière, une saillie en porte-à-faux d'environ 1^{m}20. Sur ce longeron se meut un petit chariot à galets, auquel est suspendue la charge et qui peut se déplacer de l'extrémité en porte-à-faux du longeron aux différents points de l'axe du camion, et réciproquement, à l'aide de poulies de rappel disposées à chaque extrémité du longeron. La traction s'opère par le moyen d'une chaîne à anneaux qui vient s'en-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

rouler sur un treuil placé à la naissance des brancards. Nous regrettons que, par suite de l'interdiction faite aux voitures de pénétrer dans l'intérieur du Palais, l'appareil de M. Leblanc n'ait pas été suffisamment mis à même de démontrer la commodité de sa disposition, ainsi que la multiplicité et la diversité des cas où son emploi présente un incontestable avantage.

§ 3. — Grues roulantes à vapeur.

Grues de la section anglaise. — Les seules grues roulantes à vapeur qui aient fonctionné pendant la manutention ont été les grues exposées dans la section britannique, et dont quatre sur cinq ont été utilisées au déchargement des colis de cette section. Toutes ces grues peuvent se ramener au même type : une grue ordinaire dont le treuil est actionné par une machine à vapeur. La chaudière verticale et la caisse à eau, placées en arrière, servent de contre-poids à la charge. De plus, par l'intermédiaire d'une transmission plus ou moins compliquée, la machine à vapeur est généralement utilisée à produire les mouvements de translation et d'orientation de l'appareil, ainsi qu'à baisser à ou lever la flèche. Les chaînes de suspension de toutes ces grues sont à anneaux.

La grue de 6 tonnes de la maison Appleby frères, de Londres, se fait particulièrement remarquer par la bonne disposition des éléments qui la composent. Tous ses mouvements, soulèvement et descente du fardeau, abaissement ou relèvement de la flèche, orientation et translation, se produisent à volonté à la main ou à la vapeur; le mécanisme obéit facilement; le conducteur, placé entre le treuil et la chaudière, a bien en main tous les organes de commande des différents mouvements, et peut suivre en même temps des yeux la charge qu'il manœuvre. Le fonctionnement de cette grue, disposée pour se mouvoir sur rails ou sur le sol ordinaire, nous paraît aussi sûr qu'il peut l'être avec l'emploi de chaînes ordinaires. Les chances de chocs sont d'ailleurs ex-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

trêmement réduites par la facilité qu'a le mécanicien de pouvoir à volonté soulever ou abaisser la charge, et en même temps faire tourner la grue sur elle-même. Le frein est à pédale, excellente disposition qui, pendant la manœuvre de cet appareil, laisse toute liberté d'action sur les manettes.

La grue de la maison James Taylor et C^ie^, de 5 tonnes, et la grue de 6 tonnes de la maison Shanks et fils, sont construites dans les mêmes conditions que la précédente. La première, toute en fer, peut être, comme la grue Appleby, employée sur rails ou sur le sol ordinaire; le mécanicien est également placé entre le treuil et la chaudière, mais la commande du frein se fait à la main, à l'aide d'un volant. Dans la seconde, le mécanicien circule derrière sa chaudière et sur les côtés, et le frein est à pédale.

La grue de la maison Russell et C^ie^, de 5,000 kilogrammes, ne se déplace pas par elle-même, mais tous les autres mouvements sont donnés par la vapeur; son pivot est en fer forgé, au lieu d'être en fonte, ce qui offre plus de sécurité. Pour opérer l'orientation de la grue, la transmission du mouvement s'opère par l'intermédiaire d'une chaîne à laquelle on donne, à l'aide d'un tendeur, la tension strictement nécessaire pour transmettre la force; si un obstacle quelconque s'oppose au mouvement, si le fardeau vient à heurter un objet, la chaîne glisse immédiatement. Cette disposition tend donc à paralyser l'effet du choc et à supprimer toute chance de rupture d'engrenage. Dans cette grue, la plate-forme du mécanicien est sur le côté et le frein est à pédale.

Ces quatre appareils ont fait, à eux seuls, le service de la section anglaise. La rapidité des manœuvres à la vapeur a permis à la Commission britannique d'effectuer ses déchargements à peu près au fur et à mesure des arrivages. L'emplacement attribué dans le Palais aux produits de la Grande-Bretagne n'embrassant qu'un peu plus de deux secteurs, les points de déchargement se trouvaient réduits à un très-petit nombre. C'eût été, avec des moyens d'action insuffi-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

sants, une cause inévitable d'encombrement. La Commission britannique répartit ses appareils de levage sur ces quelques points, presque à poste fixe, de manière à les laisser toujours fonctionner d'une façon continue, pendant un laps de temps aussi considérable que possible. Ces grues se trouvèrent ainsi utilisées dans les meilleures conditions pour mettre à profit les avantages inhérents à l'emploi de la vapeur.

Les appareils à vapeur auraient beaucoup perdu de leur supériorité dans la section française, présentant un développement de voies très-étendu, et où les grues ne fonctionnaient jamais au même endroit pendant plus de deux heures en moyenne. A chaque instant on déplaçait ces engins, soit pour les utiliser ailleurs, soit pour les garer afin de laisser les voies libres aux manœuvres des wagons. Ils devaient souvent, dans ces déplacements, parcourir un ou deux secteurs, quelquefois plus, dans la galerie, changer de voie, et, par suite, passer sous la plate-forme ; dans ce cas, le déplacement se compliquait de l'abaissement et du relèvement de la flèche. Quelquefois même, la grue devait être transportée d'un secteur dans l'autre, et le secteur intermédiaire se trouvait encombré ; on était obligé de lui faire tourner le secteur encombré par la voie de ceinture extérieure. Nous pensons donc qu'avec ces déplacements continuels, l'emploi exclusif de grues à vapeur aurait présenté de sérieuses difficultés dans la section française.

Une partie de ces difficultés se produisirent avec la grue anglaise à vapeur, de 6,000 kilogrammes, de la maison Stothert et Pitt, louée par la Commission Impériale et prêtée par elle pour la manutention d'arrivée aux Commissions d'Autriche et de Wurtemberg. Cette grue, d'une construction bien entendue, élève le fardeau, l'abaisse, se meut sur rails en avant et en arrière, et tourne sur elle-même, à la vapeur; on peut l'orienter en même temps qu'on lève la charge. Les mouvements d'avant, d'arrière et de rotation se font au moyen de cônes de friction, ce qui permet de produire les changements de marche sans choc. Toutes les manœuvres peuvent égale-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

ment se faire à la main, et la flèche se soulève ou s'abaisse à volonté. Mais cette grue, mise en fonctionnement dans l'intérieur du Palais, et prise en charge, tantôt par une puissance, tantôt par une autre, perdait en déplacements un temps considérable.

Les grues en mouvement dans la section anglaise étant, à l'exception d'une seule peut-être, d'une construction ramassée et présentant des flèches de hauteur assez réduite, viraient en général assez facilement et changeaient de voie sans trop de difficultés; la grue Stothert était, au contraire, assez embarrassante par sa flèche de 4m60 de portée et dont la poulie se trouvait à 6m40 au-dessus du sol, ainsi que par sa chaudière, très-rejetée en arrière, pour équilibrer la charge, et descendant en contre-bas du chariot. Ces dispositions, les unes indispensables, les autres sans inconvénient dans un dock ou dans un port, où l'on peut avoir toute la place nécessaire à la manœuvre et où le sol est plan et parfaitement entretenu, devenaient gênantes dans le Palais. L'angle d'orientation de la grue était fort réduit, et le cendrier du foyer de la chaudière, rasant le sol inégal et encombré de la galerie, eut plusieurs fois à subir des chocs assez violents pour briser des engrenages et causer à l'appareil des avaries sérieuses.

La grue Stothert fit, pendant la récxpédition, le service presque exclusif de la section belge, où, fonctionnant dans les conditions les plus favorables, elle put recouvrer tous ses avantages.

Grue de M. Neustadt.—En dehors des cinq grues anglaises, il n'y avait, dans la classe 52, que deux autres grues roulantes à vapeur destinées à la manutention, mais qui, arrivées quelques jours seulement avant l'ouverture de l'Exposition, ne purent être utilisées au déchargement. Nous n'en avons pas moins examiné ces appareils, dont nous avons pu apprécier le mérite par des expériences faites devant nous.

La première, de 6 tonnes, construite, sur les dessins de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

M. Neustadt, par la Société de construction de machines et de matériel des chemins de fer de Molenbeck-Saint-Jean-lez-Bruxelles, et exposée dans la section belge, peut être mise sur le même rang que les grues anglaises. Tous les mouvements : translation, abaissement et relèvement de la flèche, manœuvre de la charge, se font à la vapeur; les transmissions sont un peu compliquées, mais présentent l'avantage d'occuper une place aussi réduite que possible ; la disposition des manettes de commande n'est peut-être pas aussi commode que celle de certaines grues anglaises. Le frein est commandé par une vis de rappel mue par un volant. Comme sécurité, l'emploi de la chaîne de galle nous la ferait préférer aux appareils précédents; mais cette grue, de 5,000 kilogrammes, aurait été, comme la grue Stothert, d'un service difficile dans le palais : elle est à grande portée.

Nous ferons remarquer en outre que, dans les grues anglaises qui se déplacent par elles-mêmes, le mouvement n'est transmis qu'à deux roues, tandis que, dans la grue Neustadt, les quatre roues sont commandées à la fois, disposition qui empêche l'appareil de patiner quand il se déplace en charge, en permettant d'utiliser toute l'adhérence.

Grue de M. Chrétien. — La seconde grue, de la force de 4,000 kilogrammes, et du système de M. Chrétien, aurait également été d'un emploi difficile, car, outre l'inconvénient d'une flèche trop haute pour passer sous la plate-forme, elle comprend, comme la grue Stothert, une chaudière dont le foyer rase la terre. La grue de M. Chrétien est d'ailleurs une des plus intéressantes que nous ayons eu à examiner, au point de vue du principe dont elle offre l'application. Ce principe est caractérisé par la traction directe du fardeau à soulever par la tige du piston et par l'absence complète de treuil. L'appareil se compose d'un chariot à quatre roues, sur lequel repose, au moyen d'un large empattement, la colonne centrale en fonte surmontée du pivot autour duquel tourne tout l'appareil. Sur

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

le pivot repose une cloche à laquelle sont rattachés deux longerons en tôle qui portent, à une extrémité, la chaudière, et à l'autre, les attaches de la flèche. Comme dans les grues précédentes, la chaudière et la caisse à eau font contre-poids; le mécanicien se place dans l'espace compris entre le pivot et la chaudière. La flèche est formée d'un long cylindre en fonte qui est le cylindre à vapeur, prolongé par un bras en tôle, de section triangulaire, et dont le sommet est relié avec le corps de la chaudière par deux tirants en fer.

La grue exposée n'opère à la vapeur que le soulèvement ou l'abaissement du fardeau. L'orientation se fait à la main, à l'aide d'une transmission par engrenages. Le mécanicien règle l'action de la vapeur au moyen d'un levier. La différence de vitesse entre le fardeau et le piston est obtenue à l'aide d'un moufle disposé dans le bras en tôle de la flèche. Le piston entraîne la chape mobile et allonge, en même temps, les brins de la chaîne qui relient les deux groupes de poulies. On produit ainsi le mouvement inverse de celui qu'on utilise dans les moufles ordinaires; au lieu de tirer sur le brin libre qui se trouve être ici la chaîne pendante, on tire sur les poulies. La course du fardeau se trouve égale à la course du piston, multipliée par le nombre des brins du moufle. La levée et la descente du fardeau sont limitées par un changement de distribution automatique, et se font avec une vitesse aussi grande qu'on peut le désirer (1). Il est de plus à remarquer, au point de vue de l'économie, que la dépense de vapeur serait entièrement proportionnelle au travail utilisé, si le cylindre et les

(1) Ce système de grues paraît pouvoir résoudre simplement un problème que l'on se pose actuellement dans beaucoup de cas, le pesage du fardeau, par l'appareil de levage lui-même, par une combinaison qui consisterait à adapter à l'appareil un indicateur de pression gradué spécialement et mis en communication avec le cylindre à vapeur. Nous doutons, toutefois, que l'administration consente jamais à poinçonner un tel appareil de pesage, dont les indications varieraient inévitablement avec les frottements des tourillons des poulies, de la chaîne dans les gorges de ces poulies, et seraient facilement altérables par un serrage plus ou moins énergique de la garniture du presse-étoupe.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

conduites de vapeur étaient établis dans des conditions convenables pour éviter les condensations.

Depuis l'invention de ses grues, qui ne date que de quelques années, M. Chrétien n'a cessé de les perfectionner. Aujourd'hui cependant, ces appareils, quoique donnant d'excellents résultats, ne sont pas encore complets, et leur usage demeure limité à la manœuvre de fardeaux d'un tonnage relativement assez faible, car, avec l'emploi de moufles, la pression de la vapeur devient rapidement insuffisante dès que l'on veut lever des charges un peu considérables.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III

DISTRIBUTION DU GAZ AU PALAIS ET DANS LE PARC DU CHAMP DE MARS

PAR M. GUÉRARD.

§ 1. — Organisation du service.

En organisant le service hydraulique de l'Exposition Universelle, le comité de la classe 52, pénétré de l'importance des besoins auxquels ce service était destiné à satisfaire, s'était justement préoccupé de la question de savoir s'il convenait de recourir uniquement à la distribution de la ville de Paris, ou s'il fallait, au contraire, adopter un service distinct, avec machines élévatoires spéciales; après délibération, il s'est prononcé pour un service élévatoire distinct, tout en ménageant des liaisons avec les conduites de la ville, se réservant ainsi les ressources municipales pour des circonstances exceptionnelles.

Cette même pensée a présidé à l'organisation du service de l'éclairage. Sans avoir toute l'importance de la distribution d'eau, la distribution de gaz n'en avait pas moins des besoins très-nombreux et variés à satisfaire : éclairer le Parc sur une surface de 25 hectares au moins; distribuer aux restaurants du promenoir couvert du Palais et du Parc le gaz nécessaire à leur chauffage, à leur éclairage; fournir aux moteurs à gaz leur élément indispensable, tel était, en résumé, le but du vaste

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

réseau des canalisations de gaz. La Commission Impériale avait songé tout d'abord à organiser un service d'éclairage entièrement distinct de celui de la ville de Paris : des usines à gaz, avec leurs appareils distillateurs et épurateurs variés, leurs gazomètres, pouvaient être installées dans le Parc; l'éclairage du pourtour extérieur du Palais, ou de certaines parties du Parc, qui restait le soir ouvert au public, pouvait permettre de montrer comparativement divers procédés et appareils fondés sur l'emploi des combustibles et de la lumière électrique. Cette combinaison, on ne peut le dissimuler, devait présenter un grand intérêt; l'affluence du public le soir eût été sans doute augmentée. La Commission Impériale, après mûre réflexion, n'a pourtant pas cru pouvoir adopter ce vaste projet, dont la réalisation eût fort heureusement complété l'organisation des services généraux de l'Exposition. Un examen approfondi en a montré les inconvénients : d'une part, dépenses considérables nécessitées, soit par l'établissement des usines, soit par l'installation des appareils pour éclairage spécial ; d'autre part, et en première ligne, danger d'accumuler sur un même point de l'Exposition des masses de gaz considérables, et enfin nécessité d'assurer le service, dès le premier jour, et sans aucune interruption pendant toute la durée de l'Exposition.

§ 2. — Canalisation et concessions.

Canalisation.—La Commission Impériale s'est adressée à la Compagnie Parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz; moyennant le prix de 20 centimes par mètre cube, elle a pu prendre sur les conduites de la ville le gaz nécessaire à l'alimentation de l'Exposition Universelle; une conduite de 0^m50 de diamètre, greffée sur la conduite du quai de Billy, traversait le pont d'Iéna sous le trottoir amont, entrait dans l'enceinte de l'Exposition, derrière le bâtiment d'exposition des forges de Châtillon et Commentry, longeait la grande avenue d'Europe, faisant face au pont d'Iéna, et se divisait en deux conduites

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faisant le tour du Palais, l'une de 0^m10 de diamètre, sous le grand boulevard, l'autre de 0^m25, sous le promenoir couvert; de ces deux grandes artères se détachaient les ramifications qui distribuaient le gaz dans la galerie extérieure du Palais et dans toute l'étendue du Parc. Des raisons de la plus simple prudence faisaient proscrire d'une manière absolue le gaz dans l'intérieur du Palais : on ne l'a admis dans la sixième galerie que pour certaines machines auxquelles ce fluide était indispensable. Les restaurants utilisèrent le gaz pour éclairer leurs établissements de la septième galerie, leurs caves et leurs cuisines ménagées dans la galerie souterraine extérieure; mais les précautions les plus minutieuses furent prises pour éviter les fuites, la Commission Impériale n'ayant reculé devant aucun sacrifice pour conjurer le danger d'incendie dans un palais où se trouvaient entassées les richesses du monde entier. Pour des raisons de même ordre, on avait soigneusement écarté le gaz du jardin réservé, où se renouvelaient, chaque quinzaine, les expositions des produits horticoles les plus variés et les plus riches; les expériences, malheureusement trop nombreuses, faites dans les promenades et dans les squares de Paris, ont démontré l'influence fâcheuse que le gaz exerce sur les végétaux.

Concessions. — La distribution de gaz, restreinte au Parc proprement dit, à l'exclusion du jardin réservé, alimenta le service général de l'éclairage public et satisfit aux besoins des particuliers. Le gaz fut concédé à ces derniers par abonnement, moyennant le prix de 30 centimes par mètre cube, prix bien inférieur au prix de revient, si on ajoute au prix de 20 centimes que paya la Commission Impériale à la Compagnie Parisienne la dépense des canalisations; la Commission Impériale, désirant maintenir les tarifs auxquels sont accoutumés les commerçants de Paris, adopta sans réserve le prix de 30 centimes par mètre cube pour le gaz, parce que ce prix est celui établi par la Compagnie Parisienne.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ces abonnements furent réglés par des polices analogues à celles qui sont adoptées dans la ville de Paris. Le nombre des abonnés fut de 124, et le volume de gaz qu'ils consommèrent par mois fut en moyenne de 40,000 mètres cubes. On doit citer parmi les diverses consommations comprises dans ce total : celles des machines à gaz pour 2,000 mètres cubes par mois, celles des restaurants et, en particulier, celle du Cercle International ; sur les 38,000 mètres cubes consommés par mois au dehors du Palais, 18,500 furent concédés aux 43 abonnés de la septième galerie, et 19,500 aux 71 abonnés du Parc ; le Cercle International, à lui seul, absorba 4,000 mètres cubes.

§ 3. — Fonctionnement du service. — Compteurs, régulateurs.

Réseau du service. — Le réseau des canalisations destinées à distribuer aux exposants ces 40,000 mètres cubes de gaz par mois, et un volume au moins égal pour l'éclairage public, ne développait pas moins de 15 kilomètres. Les travaux de canalisation de gaz et d'eau firent l'objet de la même entreprise. La Commission Impériale avait prévu les difficultés qui pouvaient résulter de la multiplicité des chantiers dans l'enceinte du Champ-de-Mars ; persuadée que le seul moyen d'amoindrir ces difficultés était de rapprocher autant que possible les intérêts en présence, de grouper les entreprises, de telle sorte que les efforts de l'une pussent profiter à l'autre, elle avait donné au même entrepreneur les travaux du service hydraulique et ceux du service de l'éclairage ; cette combinaison a donné les meilleurs résultats.

On a admis pour les canalisations d'eau et de gaz un même système de conduites et de robinets ; pour les diamètres de 0^m10 et au-dessus : tuyaux en fonte avec joints à bagues, robinets du système Hubert, à un seul siége et à vanne inclinée, ou à deux siéges et à coins pour le diamètre de 0^m50. Les joints à bagues se sont bien comportés, même dans les plus mauvais terrains du Parc. Toutes les canalisations

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

de fonte ont été essayées à l'eau sous une pression de deux atmosphères et demie.

Pour les conduites d'un diamètre inférieur à 0^m10, on a admis des tuyaux en plomb et des robinets en bronze à boisseau; aux points bas des canalisations, on a placé des siphons cylindriques entièrement en plomb, destinés à recueillir les produits de la condensation du gaz : la vidange de ces siphons s'est faite régulièrement toutes les semaines.

Des conduites maîtresses partent les branchements qui alimentent soit les établissements privés, soit les appareils d'éclairage public. Tous les travaux nécessaires pour amener le gaz aux exposants ou concessionnaires ont été exécutés aux frais de ces derniers; la canalisation extérieure jusqu'au compteur, la prise sur la conduite publique étaient obligatoirement effectuées par les entrepreneurs de la Commission Impériale, en location et aux mêmes conditions que les conduites générales; la distribution intérieure faite par un entrepreneur quelconque, sous le contrôle de la Commission Impériale, devait remplir les conditions prescrites par l'arrêté du préfet de la Seine, en date du 18 février 1862, concernant les conduites et appareils d'éclairage et de chauffage par le gaz dans l'intérieur des bâtiments du département de la Seine.

Toute l'attention de la Commission Impériale s'était portée sur l'éclairage public. Les voies principales suivant l'axe du pont d'Iéna, le grand boulevard, furent éclairés par une double rangée de candélabres ; la marquise, autour du Palais, par une double ligne d'appareils, des lyres suspendues au pourtour, des girandoles à trois branches, appliquées sur la façade des restaurants et boutiques et dont la lumière était tamisée par des globes en émail; les allées du Parc étaient suffisamment éclairées par des candélabres placés à une distance qui ne devait pas excéder 18 mètres; les candélabres, du modèle adopté par la ville de Paris, sortaient des importantes usines de MM. Baudon et Oudry.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Compteurs. — Un certain nombre de producteurs, pour montrer complétement leur industrie aux yeux du public, ont offert gratuitement leurs services à la Commission Impériale : MM. Siry-Lizars et C^ie^, MM. Brunt et C^ie^, les deux constructeurs de compteurs à gaz les plus connus de Paris, ont installé à leurs frais, dans un bâtiment construit par la Commission Impériale, derrière le pavillon d'exposition des forges de Châtillon et Commentry, les deux compteurs destinés à mesurer le volume de gaz fourni par les conduites de la ville à l'Exposition Universelle. Ces deux compteurs, de 5,000 becs chacun, figurent au Catalogue des objets exposés, la Commission Impériale ayant appelé leurs constructeurs à concourir comme exposants pour l'obtention des récompenses ; avec les deux régulateurs de pression installés dans le même pavillon sur les conduites du Parc, ils complétent l'exposition faite dans la classe 53, 6^e^ galerie, par les deux maisons Brunt et C^ie^, Siry-Lizars et C^ie^.

De l'appareil imaginé par Clegg, aux compteurs exposés par MM. Brunt et C^ie^, et Siry-Lizars et C^ie^, la distance est énorme. Le compteur à gaz doit être d'une sensibilité extrême ; il doit marcher avec les plus faibles pressions que peut donner le gaz et sans les absorber, fonctionner avec une régularité absolue pour donner de la fixité à la flamme, et on ne peut employer dans la construction de cet appareil que des métaux ou alliages inattaquables par les produits de la condensation du gaz : le niveau de l'eau dans laquelle se meut le volant doit être maintenu rigoureusement constant sous peine de fausser les données du compteur. Toutes ces difficultés sont résolues dans les deux compteurs exposés par MM. Brunt et C^ie^ et Siry-Lizars. Les expériences faites chaque jour, matin et soir, pendant toute la durée de l'Exposition, au moyen de manomètres placés à l'entrée et à la sortie des compteurs, ont montré que la pression absorbée pour leur mise en marche, pression qui varie avec la vitesse du volant variable, elle-même avec la consommation de gaz, n'est que de 0^m^001 à

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

0ᵐ0025 de hauteur d'eau, pour le compteur de M. Brunt, et de 0ᵐ002 à 0ᵐ005 pour le compteur de MM. Siry-Lizars. La pression absorbée par la mise en marche varie du simple au double, d'un appareil à l'autre : cette différence doit tenir, soit aux soins apportés à la construction, soit à certaines dispositions de détail qu'il ne sera pas inutile de mentionner. Dans le compteur de M. Brunt, le tuyau d'arrivée débouche librement à l'intérieur et sans se bifurquer, dans une embase en fonte boulonnée sur la face postérieure du compteur et destinée à supporter l'axe du volant : cette disposition facilite l'entrée du gaz et a l'avantage de réduire les dimensions de l'axe du volant et son poids. Le trop plein du compteur, placé dans une boîte carrée en fonte, est formé d'une série de tubes en fer d'un assez gros diamètre pour éviter les obstructions, emboîtés les uns dans les autres de manière à former un joint hydraulique qui s'oppose à la sortie du gaz. Enfin la disposition toute spéciale adoptée par M. Brunt pour la vidange du compteur est d'une simplicité remarquable.

Régulateurs. — Les deux régulateurs placés à la sortie des compteurs, servent à modérer la pression du gaz à son entrée dans la conduite maîtresse du Champ-de-Mars. Exposés par MM. Siry-Lizars et Brunt, ils reposent sur le même principe, et ne diffèrent que par certains détails assez intéressants. Le régulateur à un seul cône obturateur, produit, lorsque la consommation est faible, des oscillations dans la marche de la colonne gazeuse qui le traverse, de là des irrégularités dans l'éclairage. M. Brunt eut l'heureuse idée de placer au-dessous du premier cône obturateur un second cône identique, lié invariablement au premier; les effets de la pression variable du gaz se contre-balancent sur ces deux cônes et les oscillations ne sont plus possibles. M. Brunt s'est attaché avec raison à réduire au minimum le frottement de la cloche sur les tiges en fer qui la guident dans son mouvement, en trans-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

formant, au moyen de galets bien dressés, tout frottement de glissement en frottement de roulement. Au moyen de ces régulateurs, on a pu maintenir à 0^{m}024 de hauteur d'eau la pression du gaz à son entrée dans la conduite maîtresse. La conduite maîtresse n'est pas interrompue au droit des compteurs, elle n'est que fermée par une valve qu'on peut ouvrir dans le cas où les deux compteurs feraient défaut, de telle sorte qu'en aucun cas le service de l'éclairage ne peut être interrompu.

§ 4. — Dépenses du service.

Après avoir parlé de l'organisation générale de la distribution de gaz et des appareils relatifs au service de l'éclairage, il est bon de dire quelques mots des dépenses.

La canalisation de gaz, établie aux frais de la Commission Impériale, comprend environ 13,500 mètres de conduites, dont 5,800 mètres de conduites en tuyaux de fonte d'un diamètre de 0^{m}100 à 0^{m}500 et 7,700 mètres de conduites en plomb; 23 robinets vannes et 40 robinets en bronze.

Le matériel de la canalisation, les appareils d'éclairage sont fournis en location : le prix de revient comprenant la location, la pose, l'entretien et la dépose, représente à peu près les deux cinquièmes du prix d'achat. La dépense totale pour tout le service de l'éclairage est d'environ 390,000 francs, dont 115,000 francs, pour la canalisation proprement dite, et 125,000 francs pour consommation de gaz. La consommation totale, accusée par les compteurs, a été en moyenne de 90,000 mètres cubes par mois.

L'allumage et l'extinction des appareils d'éclairage public font l'objet d'une entreprise spéciale à laquelle il est alloué par brûleur et par jour une somme de 6 centimes, soit 100 francs environ par jour pour l'allumage et l'extinction des 550 candélabres du Parc, des 600 lyres et girandoles du promenoir couvert et des lanternes des entrées.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

La pose des canalisations, l'installation des appareils d'éclairage, malgré les retards causés par la grève des ouvriers tourneurs en bronze de Paris, étaient terminées le 15 mars 1867, et le 1er avril, après un essai général des conduites et appareils à l'air comprimé, le réseau de distribution était mis en service.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IV

VENTILATION DU PALAIS

PAR M. LE VICOMTE D'USSEL.

§ 1. — Ventilation des palais des Expositions précédentes.

Le problème de la ventilation d'un édifice présente toujours deux parties : 1° l'extraction de l'air chaud et vicié ; 2° l'introduction de l'air nouveau.

Dans les palais des Expositions précédentes, il avait été pourvu largement à la sortie de l'air chaud par la partie supérieure. Quant à l'admission de l'air frais, au palais de 1855, elle n'était assurée que par des ouvertures de section insuffisantes. Il s'y produisait donc des vitesses gênantes aux entrées.

Au palais de Sydenham, le soubassement du palais, établi à la faveur d'une forte pente naturelle du terrain, sert de réservoir d'air. Il y arrive, du dehors, par de larges communications, et s'introduit dans la nef par les vides d'un plancher non jointif. Ce réservoir renferme, en outre, des tuyaux d'eau chaude destinés au chauffage des serres. L'air, en contact avec ces tuyaux, est ainsi naturellement appelé à l'intérieur. Le vide du plancher étant d'un quinzième, avec une vitesse d'admission de 20 centimètres, qui est à peine sensible, on voit que le débit est de 48 mètres cubes par mètre carré de plancher et par heure. Une disposition analogue, mais incomplète,

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

faute d'espace et d'orifices d'admission suffisants, existait à l'Exposition Universelle de Londres (1).

§ 2. — Conditions générales de la ventilation du Palais de 1867.

La situation et la configuration du palais de 1867 le placent, au point de vue de la ventilation, dans des conditions exceptionnelles. Ce Palais occupe une étendue de 14 hectares : il présente donc, à l'action des rayons du soleil, une surface considérable et très-absorbante, puisqu'elle est métallique. Il en résulte une cause d'échauffement, mais en même temps une grande facilité apportée à l'évacuation de l'air par tirage vertical. Cette facilité est, il est vrai, compensée par la faible hauteur de l'édifice, qui n'est que de 12 mètres 50 centimètres au maximum, sous le faîte des toitures, sauf dans la galerie des machines, où cette hauteur est de 25 mètres.

D'un autre côté, le Palais est placé entre deux réservoirs d'air, le Parc à l'extérieur, le Jardin central à l'intérieur. Ce dernier, quoique clos, n'en est pas moins un centre d'aération très-actif. Il reçoit les courants d'air qui ont traversé le Palais, et s'échappent par certaines portes, et, sans doute aussi, les vents plongeants, qui y pénètrent après avoir passé par-dessus les toitures, à la faveur du peu de hauteur que présente l'édifice relativement à son étendue. Dans tous les cas, on y observe des vitesses considérables. Entre ces deux réservoirs, la profondeur du bâtiment est faible. Elle n'est que de 160 mètres pour 750 mètres de longueur moyenne développée. Enfin, le Palais est exposé à tous les vents ; il n'est abrité d'aucun côté ; il présente, tant au dehors qu'au dedans, trente-deux portes ouvertes dans tous les sens et peut recueillir tous les souffles d'air venus du dehors. Les conditions sont donc favorables à l'efficacité de la ventilation naturelle.

(1) Ces renseignements sont empruntés au *Traité de Ventilation*, par M. le général Morin, tome 1er.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Ventilation naturelle. — Elle se fait au moyen de diverses catégories d'ouvertures que nous allons décrire, et dont le rôle varie avec les circonstances.

Une partie quelconque du palais présente, avec le dehors, deux espèces de communications.

1° Les allées rayonnantes et leurs portes : Ces allées, au nombre de seize, traversent le Palais entre le Parc et le Jardin central. Elles se terminent, à leurs deux extrémités, à des portes de 22 mètres carrés de section. Le débouché total, tant sur le Parc que sur le Jardin central, est donc de 700 mètres carrés environ. Un point quelconque de l'intérieur est en communication facile avec une au moins de ces seize voies d'air.

2° Les lanternaux des toitures : La toiture de chacune des sept galeries concentriques porte un lanterneau muni de jalousies en Z. La section totale utile de ces lanterneaux est d'environ 3 à 4,000 mètres carrés pour tout le Palais. Il est vrai que leur accès est considérablement gêné par la présence des velums décoratifs des salles, qui viennent, par leur interposition, empêcher en partie l'échappement de l'air ascendant. Ces velums ont été supprimés dans la section anglaise, au grand bénéfice de la ventilation de cette partie du palais. Il est fâcheux que diverses circonstances n'aient pas permis de généraliser cette mesure, ou d'exiger, tout au moins, le percement d'ouvertures suffisantes dans les velums, dont la présence réduit l'effet utile des lanternaux dans des proportions inconnues, mais assurément très-fortes.

Tels sont les moyens de ventilation naturelle dont sont pourvues toutes les galeries. Celle des beaux-arts et de l'histoire du travail n'en ont même point d'autres ; mais il en existe de particuliers :

1° Pour la galerie des machines, qui, vu sa forme et sa hauteur, a pu être munie de châssis à bascule disposés sur les côtés, et donnant par mètre courant un supplément d'ouverture de 70 décimètres carrés, supplément dont l'expérience a démontré l'utilité.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

2° Pour les galeries du milieu qui, étant plus éloignées de l'extérieur, communiquent en outre avec le dehors au moyen du réseau souterrain. Chacun des seize secteurs du Palais est, en effet, superposé à un secteur souterrain, formé d'une galerie rayonnante et de trois galeries circulaires qui s'y embranchent. Ces galeries sont placées au-dessous des allées du Palais qui leur correspondent et communiquent avec elles au moyen de nombreuses ouvertures munies de grilles en bois. Les galeries circulaires étant terminées en impasse, les secteurs souterrains sont isolés les uns des autres ; mais, comme toutes les galeries rayonnantes débouchent dans une galerie générale placée au pourtour, à l'extérieur, sous la galerie des aliments, les réseaux communiquent en fait indirectement. La galerie souterraine de pourtour a 10 mètres de largeur (1) sur 2m50 de hauteur, et communique avec le dehors par seize puits de prise d'air de 3 mètres carrés de section, et par cent ving-huit soupiraux additionnels, ayant chacun 35 décimètres carrés de surface. Toutes les galeries souterraines ont 6 mètres carrés de section, et les grilles en bois constituant les débouchés d'un secteur souterrain, dans le Palais, sont aussi de 6 mètres carrés.

L'ensemble de toutes ces dispositions constitue les voies de la ventilation naturelle ; quant à cette ventilation elle-même, examinée au point de vue de sa direction et de son intensité, elle paraît être un phénomène extrêmement variable.

Par les temps calmes et chauds, ce qui domine, c'est l'arrivée de l'air par le réseau souterrain, et son échappement par les lanterneaux des toitures. La ventilation se fait alors par courants verticaux dirigés de bas en haut.

Dès que l'air extérieur est agité, il pénètre dans le Palais par les portes et le réseau souterrain, du côté où souffle le vent, suit ces grandes lignes d'allées circulaires ou rayon-

(1) Une partie de cette largeur, sur un ou deux tiers est affectée au service des caves et cuisines des restaurants, et elle est séparée par une cloison de la partie destinée à l'aérage.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

nantes, et va sortir du côté opposé, soit par les lanterneaux, soit par les portes, soit par le réseau souterrain, où l'on observe des vitesses de sortie de 2 mètres et qui vont même jusqu'à 3 mètres. Le sens de la ventilation est surtout alors horizontal.

Ventilation artificielle. — Il a paru utile de donner aux galeries souterraines une part plus efficace dans la ventilation du Palais, en y activant l'intensité du courant d'air naturel au moyen de procédés mécaniques. La préexistence et la forme du réseau souterrain ont conduit à l'emploi du système nouveau de MM. Piarron de Mondésir, Lehaitre et Julienne, qui permet facilement de l'utiliser. Ce système consiste à entraîner mécaniquement, dans le Palais, l'air qui stationne dans le réseau souterrain et s'y renouvelle par les prises d'air, en lançant dans chaque galerie rayonnante un jet d'air comprimé, au moyen d'une buse d'un beaucoup plus petit diamètre. Il se produit autour du cône d'expansion du jet un entraînement de l'air ambiant, de sorte qu'à une certaine distance en avant, le mélange de l'air détendu et de l'air entraîné se trouve posséder une vitesse que l'on peut rendre assez faible pour être acceptable dans une enceinte habitée.

Les appareils de compression sont au nombre de quatre, établis autour du Palais. A chacun d'eux correspond un réseau de conduites distinct, qui envoie des branchements d'injection dans chaque galerie rayonnante. La conduite est en tôle et bitume, du système Chameroy. Elle est à gros diamètre, pour éviter les pertes de charge. Il varie de 0^m60 au départ à 0^m30. La buse d'injection est munie d'un régulateur qui permet de démasquer une section variant de 0 à 130 centimètres carrés. A côté du jet d'air, un jet d'eau pulvérisée vient le rafraîchir et en précipiter les poussières.

Pour donner à ce système le meilleur rendement de ventilation, c'est-à-dire la meilleure utilisation de la force motrice, il convient que l'air comprimé soit à basse pression, c'est-à-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dire à une pression qui ne dépasse pas 0m80 d'eau, soit huit centièmes d'atmosphère. Dans le cas des galeries du Palais, dont la section est de 6 mètres carrés, on a donné aux débouchés des jets une section variant de 75 à 130 centimètres carrés pour des pressions variant elles-mêmes de 0m70 à 0m30. Dans ces conditions, la vitesse d'entraînement, indépendamment de la ventilation naturelle, est de 2 mètres à 2m50.

Malheureusement le réseau souterrain n'est pas exclusivement réservé au service de la ventilation. Des tuyaux de vapeur, qui le traversent, échauffent l'air, malgré les enduits calorifuges dont ils sont recouverts. La section des galeries est en certains points diminuée par des obstructions. Les sections d'aspiration au dehors ne sont pas également réparties, et, en certains cas, insuffisantes. La présence des velums, dans le Palais, en empêchant la sortie de l'air, réagit sur son admission par le réseau souterrain. Le voisinage des cuisines, dont la galerie d'aérage n'est séparée que par une mince cloison mitoyenne, crée un danger permanent d'odeurs suspectes. Deux de ces cuisines ont été spécialement ventilées par l'air comprimé, au moyen de dérivations prises sur la conduite maîtresse et utilisées à produire des appels ou des refoulements. Le bénéfice de ces applications est très-apprécié par les intéressés. Toutefois, pour satisfaire à une demande énorme, l'exploitation de ces cuisines est si *intensive*, qu'il a fallu, malgré des moyens énergiques de ventilation, abandonner en certains points aux concessionnaires, en l'isolant par des cloisons, la jouissance d'une partie de la galerie d'aérage. Quatre jets, compris dans les parties sacrifiées, ont du être abandonnés. Douze seulement fonctionnent.

Appareils de compression de l'air servant à la ventilation artificielle. — Ces appareils comprimant l'air à basse pression, sont de nature différente, tels que les offres des constructeurs les ont présentés. Il y a quatre centres de compression :

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

1er Centre (force de 15 chevaux) alimentant deux jets ouverts à 100 centimètres carrés chacun, avec de l'air à la pression de 0m35 à 0m40 d'eau. Le moteur est une locomobile Farcot ; les compresseurs sont deux ventilateurs doubles du système Perrigault, de Rennes. Le ventilateur double se compose de deux ventilateurs simples rotatifs, accouplés de telle sorte que l'air sortant du premier, après un commencement de compression, se rend dans le second, où il est porté à la pression définitive. On augmente ainsi la pression et le rendement. Ces appareils, d'un prix peu élevé, d'une adaptation facile à tous les besoins, ont un débit régulier, favorable à l'entraînement de l'air. Les pressions de 0m30 à 0m40, qu'ils fournissent facilement, conviennent bien aux applications du système que nous décrivons (1).

2e Centre (force de 20 à 25 chevaux) alimentant trois jets ouverts à 75 centimètres carrés chacun, avec de l'air à la pression moyenne de 0m65. La compression est faite par un exhausteur à gaz, de MM. Gargan et Cie, semblable à ceux qui sont livrés à la Compagnie parisienne d'éclairage et de chauffage par le gaz. Les trois cylindres à air ont 0m80 de diamètre et 0m70 de course. Le cylindre à vapeur a 0m28 de diamètre et 0m70 de course. La vapeur est fournie par une chaudière voisine. Cet appareil, parfaitement construit, qui rend de grands services dans l'exploitation des usines à gaz, fonctionne très-bien comme machine de ventilation, l'action des trois cylindres régularisant les à-coups de l'injection, et dispensant de l'emploi d'un grand réservoir.

3e Centre (force motrice de 25 chevaux) alimentant trois jets ouverts à 140 centimètres carrés, avec de l'air à la pression de 0m35. Les compresseurs sont des ventilateurs Perrigault, plus puissants que ceux du centre 1. Ils prennent leur mouvement sur l'arbre moteur général de la galerie des machines ;

(1) Ces appareils peuvent dépasser ces pressions. Voir un procès-verbal d'expériences faites au Conservatoire des arts et métiers, en juillet 1865, avec des pressions de 0m735. — *Annales du Conservatoire des arts et métiers.*

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

4e Centre (40 chevaux) alimentant quatre jets ouverts en somme à 500 centimètres carrés, avec de l'air à 0m40 de pression. L'appareil compresseur se compose de deux pompes à air, construites par MM. Gautier, Philippon et Cie, mus par une machine des mêmes constructeurs. Les cylindres à air ont 1m20 de diamètre et 0m80 de course. Comme cette pompe, à cause de ses grandes dimensions, traîne un poids mort considérable, avec les faibles pressions qu'exige le système de ventilation par l'air comprimé, son fonctionnement se fait dans de mauvaises conditions de rendement, et l'appareil est peu approprié à son service.

Résultats et prix de revient de la ventilation artificielle.— La ventilation forcée introduit dans le palais de 550 à 600,000 mètres cubes d'air par heure, à une température inférieure de 2 degrés environ à celle du palais, et à une vitesse qui est de 2 mètres au minimum, au point précis où se fait la sortie du filet fluide par les grilles, mais qui, par l'épanouissement de ce filet, devient beaucoup moindre à très-peu de distance au delà. Ces résultats ont été constatés par des expériences directes, faites avec l'anémomètre, sur les vitesses de l'air circulant dans les galeries. Ils mesurent l'effet propre du système, indépendamment de l'influence de la ventilation naturelle.

Les 600,000 mètres cubes forment un peu plus que le volume total de la portion du palais desservie par le réseau souterrain, dont l'air serait ainsi renouvelé toutes les heures s'il n'y avait pas d'autre mode d'admission. On peut dire encore que ce débit suffit à alimenter d'air, à raison de 30 mètres cubes, par tête et par heure, une population de 20,000 personnes stationnant dans la partie médiane du palais.

Cette ventilation coûte à la Commission impériale environ 70,000 francs. Cette somme se rapporte seulement aux frais de la production et de la distribution de l'air comprimé, c'est-à-

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

dire de la fourniture, en location, des appareils de compression, de leur fonctionnement, et d'une tuyauterie de 1,600 mètres, pour 200 jours de service, la journée étant de sept heures et demie. Elle ne comprend pas les frais de la production de la force motrice des centres 3 et 4, ni ceux d'établissement du réseau souterrain et de ses accessoires. Les 1,000 mètres cubes d'air lancés dans le palais coûtent 0 fr. 078. Il ne faudrait pas donner à ce prix une portée trop générale, l'isoler des circonstances que nous avons définies, et oublier qu'il se rapporte à une location, dans les conditions tout exceptionnelles d'une exposition. Ce qui reste établi comme résultat d'expériences, c'est le rapport du débit de 600,000 mètres cubes à une force motrice certainement inférieure à 100 chevaux.

Résultats du concours de la ventilation artificielle avec la ventilation naturelle. — La ventilation artificielle a donc pour effet d'introduire dans le palais 600,000 mètres cubes d'air. Mais, dans le résultat général obtenu, l'aération satisfaisante du palais, quelle est la part incontestable qui leur revient? Elle est difficile à apprécier. Entre deux secteurs, dont l'un est ventilé et dont l'autre ne l'est pas, il se fait un tel mélange de leurs atmosphères, que les différences de température paraissent insensibles. Ce qui est certain, c'est que l'action du vent amoindrit considérablement le rôle de la ventilation artificielle, en introduisant dans le palais des masses d'air de beaucoup supérieures à celles qu'une ventilation artificielle quelconque peut y déverser. Un des principaux caractères du palais, c'est de se ventiler très-bien lui-même par l'action du vent; dans ce cas, la ventilation artificielle fait l'effet d'un système régulier et d'intensité relativement faible, se superposant à un système très-irrégulier et très-énergique. Elle agit comme régulateur.

C'est seulement dans les jours chauds, où l'air est immobile, que la ventilation artificielle, conformément au but de

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

son établissement, rend des services bien distincts. Les quelques chiffres suivants, extraits des observations faites par les soins de la Commission impériale, donneront une idée des résultats dus à la ventilation artificielle, dans les journées des 13, 14 et 15 août, où la température était fort élevée, et l'air trop calme pour que la ventilation naturelle pût agir autrement que par appel.

Entre trois et quatre heures de l'après-midi, les températures moyennes relevées à l'ombre étaient :

Dans le parc	34°
Dans la galerie du travail, soumise uniquement au jeu de la ventilation naturelle	31° 40
Dans les parties de la galerie IV dite du vêtement non ventilées	30° 75
Dans les parties de cette même galerie, où agissait la ventilation artificielle	27° 63

La différence à l'avantage des parties ventilées était donc d'environ trois degrés et demi, par rapport à la galerie du vêtement et à celle des machines, et de six degrés et demi par rapport au parc.

L'air extérieur s'engageait ainsi dans les carneaux à 34°, et, dans son parcours, perdait 10° de chaleur, tant à cause de la fraîcheur naturelle des galeries souterraines, dont il léchait les parois, que par suite de l'injection d'eau froide à l'orifice des buses à air comprimé.

L'air était refoulé à 24° dans le palais, dont la température eût été, sans la ventilation, de 31°. La moyenne de ces deux chiffres est de 27° 50, et reproduit presque exactement la température des parties ventilées.

En résumé, la combinaison des deux modes de ventilation naturelle et artificielle, qui agissent simultanément, mais dont l'action respective acquiert ou perd de l'importance, suivant les conditions atmosphériques, procure au palais une aération

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

moyenne satisfaisante. Le succès de la ventilation du palais était un problème auquel l'expérience devait donner une solution définitive rendue plus intéressante encore par les conditions exceptionnelles de forme et de dimension de cet édifice sans précédent.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES

DU

TOME HUITIÈME

GROUPE VI

INSTRUMENTS ET PROCÉDÉS DES ARTS USUELS.

CLASSE 47

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'EXPLOITATION DES MINES ET DE LA MÉTALLURGIE

SECTION I.

SONDAGES,

PAR M. GERNAERT.

		Pages.
§ 1.	Travaux de MM. Degousée et Laurent.....	5
§ 2.	Travaux de MM. Dru frères (Saint-Just et Léon)....	7
§ 3.	Fonçage à niveau plein des puits de mines.....	8
	Système Kind et Chaudron.....	8

SECTION II.

DÉTAILS DES TRAVAUX RÉCENTS DE SONDAGE,

PAR M. CH. LAURENT-DEGOUSÉE.

§ 1.	Considérations générales.....	13
§ 2.	Perfectionnements obtenus, de 1862 à 1867, d'après les brevets.....	18
§ 3.	Systèmes exposés en 1867	21

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III.

SONDAGES DU SAHARA ORIENTAL DE LA PROVINCE DE CONSTANTINE,

PAR M. DUBOCQ.

Pages.

§ 1. Description de la région saharienne de la province de Constantine 33
§ 2. Puits artésiens 37

SECTION IV.

TRAVAUX DE CAPTAGE DES EAUX MINÉRALES, ÉTABLISSEMENTS THERMAUX;

PAR M. JULES FRANÇOIS.

CHAPITRE I.

RECHERCHE ET CAPTAGE D'EAUX MINÉRALES 44

Travaux à la sonde 44
Travaux par puits et tranchées, avec enchambrement à l'émergence 44
Travaux par galeries, de niveau à la roche, avec enchambrement à l'émergence 44
Travaux par semelle de béton, avec colonne de captage à l'émergence 45

CHAPITRE II.

ÉTABLISSEMENTS THERMAUX 52

SECTION V.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'EXPLOITATION DES MINES,

PAR M. CALLON.

CHAPITRE I.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 56

CHAPITRE II.

EXPLOITATION DES MINES.

§ 1. Extraction et épuisement 59
§ 2. Échelles mécaniques, bennes, etc 62
§ 3. Transport intérieur 64
§ 4. Travaux d'abatage, de havage, de perforation 69

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III.

Pages.
AÉRAGE DES MINES 73

CHAPITRE IV.

MODÈLES ET PLANS DE TRAVAUX 75

CHAPITRE V.

ACCESSOIRES DE L'EXPLOITATION.

§ 1. Cages, guides, parachutes, etc 77
§ 2. Lampes, mèches de sûreté, etc 79

CHAPITRE VI.

DISPOSITIONS EXTÉRIEURES.

§ 1. Appareils de déchargement et d'emmagasinement 80
§ 2. Appareils de lavage et d'agglomération des combustibles minéraux 82
§ 3. Préparation mécanique des minerais 85

SECTION VI.

PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES,

PAR M. LAN.

CHAPITRE I.

PROCÉDÉS DE LA MÉTALLURGIE GÉNÉRALE.

§ 1. Préparation des combustibles 89
§ 2. Fours Siemens 92

CHAPITRE II.

PROCÉDÉS DE LA MÉTALLURGIE DU FER.

§ 1. Préparation de la matière 95
§ 2. Procédés d'affinage 99
§ 3. Procédé Bessemer 100
§ 4. Fabrication des produits finis 103
Moulure mécanique 104
Moulage d'ornementation 105
Acier fondu 106
Fers en barres 107

CHAPITRE III.

PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES APPLICABLES AUX MÉTAUX AUTRES QUE LE FER. 109

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION VII.

FOYERS FUMIVORES,

PAR M. ED. GRATEAU.

Pages.

§ 1. Considérations générales 112
§ 2. Rôle des appareils fumivores 114
§ 3. Moyens de prévenir la fumée 115
§ 4. Appareils fumivores 117

SECTION VIII.

GALVANOPLASTIE,

PAR M. DE JACOBI.

CHAPITRE I.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DU CUIVRE.

§ 1. Qualités du cuivre galvanique 126
§ 2. Galvanoplastie massive 129
§ 3. Moulage 130
§ 4. Galvanoplastie en ronde bosse 131
§ 5. Cuivrage galvanique. — Établissement de M. Oudry 133
§ 6. Ouvrages de divers exposants 135
§ 7. Musées de South-Kensington (Londres), de Vienne (Autriche). 138

CHAPITRE II.

GRAVURE ET IMPRIMERIE.

§ 1. Reproduction et aciérage des planches gravées 140
§ 2. Billets de banque, timbres-poste 141
§ 3. Fabrication des faïences décorées 142
§ 4. Procédés de gravure 142

CHAPITRE III.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE DE L'OR, DE L'ARGENT, DU FER, ETC.

§ 1. Dorure et argenture galvaniques 143
§ 2. Dorures polychromes 145
§ 3. Émaux cloisonnés 145
§ 4. Damasquinage galvanique 148
§ 5. Guillochage électro-magnétique 148
§ 6. Applications de la dorure galvanique 148
§ 7. Galvanoplastie d'argent massif 148
§ 8. Galvanoplastie des autres métaux 151
§ 9. Machine magnéto-électrique 152
§ 10. Conclusion 153

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION IX.

APPLICATIONS EN GRAND DE LA GALVANOPLASTIE ET DE L'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE,

PAR M. OUDRY.

CHAPITRE I.

GALVANOPLASTIE.

Pages.
§ 1. Historique 155
§ 2. Produits exposés 160

CHAPITRE II.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE 164

CLASSE 48

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS RURALES ET FORESTIÈRES.

SECTION I.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS RURALES,

PAR M. BOITEL.

CHAPITRE I.

MACHINES ET OUTILS.

§ 1. Observations générales 175
§ 2. Préparation du sol. — Labour, semailles et façons diverses. 177
§ 3. Faucheuses et moissonneuses 181
§ 4. Machines à battre 183
§ 5. Machines d'intérieur de ferme et machines diverses 184

CHAPITRE II.

ENGRAIS 186

SECTION II.

MACHINES LOCOMOBILES ET MACHINES ROUTIÈRES,

PAR M. TRESCA.

§ 1. Machines locomobiles 192
§ 2. Machines routières 198

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION III.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES EXPLOITATIONS FORESTIÈRES,

PAR M. SERVAL.

		Pages.
§ 1.	France	204
	Aménagements	205
	Charrue forestière	205
	Scieries	206
	Élagage	206
	Écorçage	206
	Résines	207
	Reboisements et regazonnements	207
§ 2.	Pays étrangers	208

SECTION IV.

MATIÈRES FERTILISANTES D'ORIGINE ORGANIQUE OU MINÉRALE,

PAR M. LE BARON JUSTIN DE LIEBIG.

(Traduit de l'allemand par M. MICHEL REMPP.)

CHAPITRE I.

THÉORIE GÉNÉRALE.

§ 1.	Système rationnel de culture	211
§ 2.	Exploitation épuisante	214

CHAPITRE II.

LES ENGRAIS.

§ 1.	Importance et rôle des engrais	217
§ 2.	Rôle des divers genres d'engrais	225

SECTION V.

ASSAINISSEMENT DES FOSSES ET CONVERSION DES VIDANGES EN ENGRAIS,

PAR M. DUMAS 234

SECTION VI.

ÉTAT DE L'INDUSTRIE DES ENGRAIS,

PAR M. PAUL BOITEAU.

§ 1. Nécessité d'une production d'engrais artificiels 240

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 2. Motifs et dispositions de la loi de 1857 242
§ 3. Engrais employés en France 244
Production et consommation 245
Vidanges 246
Noirs 246
Tourteaux 247
Goëmons 247
Guano 247
Phosphate de chaux 248
Engrais de débris de poissons 251
Autres engrais 252
§ 4. Production et consommation des pays étrangers 253
Angleterre 253
Allemagne et Russie 256
Produits exposés 256

CLASSE 49

ENGINS ET INSTRUMENTS DE LA CHASSE, DE LA PÊCHE ET DES CUEILLETTES.

SECTION I.

ARTICLES DE PÊCHE, CANNES, LIGNES, MOULINETS, HAMEÇONS, APPATS, ETC., FILETS DE MER ET D'EAU DOUCE, MACHINE A FABRIQUER LES FILETS,

PAR M. LE DOCTEUR A. GILLET DE GRANDMONT.

CHAPITRE I.

CANNES, LIGNES, HAMEÇONS, APPATS.

§ 1. Cannes à pêcher 262
§ 2. Lignes à pêcher 264
§ 3. Moulinets 265
§ 4. Hameçons 266
§ 5. Appâts artificiels 268
§ 6. Appâts de mer. — Rogue 269

CHAPITRE II.

FILETS DE PÊCHE.

§ 1. Filets de mer et d'eau douce 270
§ 2. Machines à fabriquer les filets 273

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

SECTION II.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE PISCICULTURE FLUVIALE,

PAR M. COUMES.

		Pages.
§ 1.	Pisciculture fluviale en général	278
	Pisciculture fluviale	278
	Fécondation artificielle	278
	Appareils d'incubation et d'éclosion	279
	Moyens de transporter des œufs fécondés	279
	Appareils de transports des poissons vivants	280
§ 2.	Plans et modèles d'établissements de pisciculture artificielle.	280
	Aquariums d'eau douce	281
§ 3.	Échelles à poissons	282

SECTION III.

APPAREILS PLONGEURS ET SCAPHANDRES,

PAR M. LE DOCTEUR A. GILLET DE GRANDMONT.

§ 1.	Considérations générales	284
§ 2.	Appareils divers perfectionnés	287
§ 3.	Appareils respiratoires	291

CLASSE 50

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DES USINES AGRICOLES ET DES INDUSTRIES ÉLÉMENTAIRES.

SECTION I.

OUTILLAGE POUR LA FABRICATION DU SUCRE DE BETTERAVE,

PAR M. LE BARON THÉNARD.

Introduction	295

CHAPITRE I.

RAPERIE	297
De l'extraction du jus	297
Laveur	298
Râpe	298
Ensacheur mécanique	301
Presse à préparer	302
Presse à finir	303
De l'extraction du jus par semi-macération	304

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

DE L'ÉLIMINATION PRÉALABLE DE LA PLUS GRANDE MASSE POSSIBLE DES MATIÈRES ACCOMPAGNANT LE SUCRE.

Pages.

§ 1. Historique des procédés 305
§ 2. Procédé Possoz et Périer 308
Chaudières à déféquer 310
Soufflerie 311
Décanteur méthodique continu 311
Filtres à noir 312
Presse à écumes 312

CHAPITRE III.

DE LA CONCENTRATION DU JUS.

§ 1. Procédés divers 314
Chaudières à évaporer 317
§ 2. Procédé Zambaux 320
§ 3. Autres procédés nouveaux 324

CHAPITRE IV.

CRISTALLISATION DU SUCRE 325

CHAPITRE V.

SÉPARATION DU SUCRE CRISTALLISÉ DES EAUX MÈRES OU IL A PRIS NAISSANCE 328
Du travail des mélasses 329
Fermentation des mélasses 329
Les alcalis sont les amis du sucre 330
Extraction des salins 330
Traitement des mélasses par la baryte 331
Traitement des mélasses par la chaux et l'alcool 331
Osmose 332
Rentrée des mélasses dans le travail des betteraves 335

CHAPITRE VI.

DU NOIR ANIMAL 335
Fermentation 336
Lavage 337
Calcination 337
Décortication 340

CHAPITRE VII.

DE LA FABRICATION DE L'ACIDE CARBONIQUE ET DE LA CHAUX 340

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VIII.

DE LA QUALITÉ DES BETTERAVES EMPLOYÉES EN SUCRERIE.

Pages.

§ 1. Observations générales 342
§ 2. Comptes d'industrie et d'agriculture 344
Compte industriel sur la totalité de la production française. 345
§ 3. Compte agricole 345

CHAPITRE IX.

Résumé 348

SECTION II.

PÉTRISSEURS MÉCANIQUES.

PAR M. LEBAUDY.

§ 1. Considérations générales sur la fabrication du pain 351
§ 2. Procédés divers de pétrissage mécanique 353
§ 3. Résumé 359

SECTION III.

MATÉRIEL DE LA CHOCOLATERIE,

PAR M. LE BARON THÉNARD.

§ 1. Considérations générales 360
§ 2. Appareils directs de fabrication 361
§ 3. Torréfacteur 362
§ 4. Broyeuses 364

SECTION IV.

FABRICATION DE LA GLACE,

PAR M. ARNOUL THÉNARD.

§ 1. Considérations générales 367
§ 2. Appareils pour abaissement de température 368
§ 3. Découverte de M. Ferdinand Carré 370
§ 4. Appareils de M. Edmond Carré 375

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 51

MATÉRIEL DES ARTS CHIMIQUES DE LA PHARMACIE ET DE LA TANNERIE.

SECTION I.

INDUSTRIE STÉARIQUE,

PAR M. MOTARD.

Pages.

§ 1. Saponification calcaire 382
§ 2. Réduction des corps gras en acides par l'eau seule..... 383
§ 3. Réduction des acides en corps gras par l'eau aiguisée d'acide sulfurique..... 386
§ 4. Distillation des corps gras, à l'aide de la vapeur surchauffée, en les soumettant à l'action préalable de quelques centièmes d'acide sulfurique 387
§ 5. Appareils à distiller les corps gras, de MM. Leroy et Durand. 388
§ 6. Machines diverses à mouler..... 389
§ 7. Machines à mouler, de M. Morane..... 390

SECTION II.

USINES A GAZ,

PAR M. EUGÈNE PELOUZE.

§ 1. Cornues en terre pour la distillation de la houille..... 395
§ 2. Fours, gazomètres et régulateurs 399
§ 3. Canalisation 401
§ 4. Compteurs à gaz..... 403

SECTION III.

MATÉRIEL DE LA PHARMACIE,

PAR M. AMÉDÉE VÉE.

§ 1. Chauffage à la vapeur..... 407
§ 2. Machines à pastilles..... 408
§ 3. Capsules..... 409
§ 4. Appareils divers 409

SECTION IV.

PRÉPARATION DES TABACS,

PAR M. CAVARÉ FILS.

§ 1. Poudre ou tabac à priser..... 412

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
§ 2. Scaferlati ou tabac à fumer 418
§ 3. Rôles 423
§ 4. Cigares et cigarettes 426

SECTION V.

MATÉRIEL ET OUTILLAGE MÉCANIQUE DE LA TANNERIE ET DE LA MÉGISSERIE,

PAR M. A. PERRAULT.

§ 1. Machines à écharner, à ébourrer, etc 429
§ 2. Machines à refendre. — Scies 431
§ 3. Marteaux à battre les cuirs. — Machines à cylindre 431
§ 4. Machines à margueriter 432
§ 5. Moulins à tan 433
§ 6. Machines à doler 435
§ 7. Presse à sécher la tannée 436
§ 8. Conclusion 437

SECTION VI.

PRODUITS RÉFRACTAIRES,

PAR M. CHANDELON.

CHAPITRE I.

QUESTIONS GÉNÉRALES 439

CHAPITRE II.

PRODUITS EXPOSÉS 446

§ 1. Belgique 447
§ 2. France 449
§ 3. Grande-Bretagne 451
§ 4. Autres pays 453

SECTION VII.

MATÉRIAUX ET APPAREILS DES USINES A GAZ,

PAR M. LAWRENCE SMITH.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES 455

§ 1. Matières employées pour faire du gaz d'éclairage 458
§ 2. Cornues et fourneaux 459
§ 3. Conduites du gaz des cornues, condenseur, etc 462
§ 4. Méthode de chauffage des cornues 463

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.
§ 5. Tuyaux distributeurs du gaz 463
§ 6. Tuyaux de fer forgé 464
§ 7. Tuyaux en fer bitumé 465
§ 8. Aspirateurs 466
§ 9. Gazomètres 467
§ 10. Becs à gaz 468
§ 11. Matières pour bouts de becs 472
§ 12. Applications indirectes du gaz 473
§ 13. Fabriques de gaz portatif 473
§ 14. Quelques formes d'éclairage par le gaz 474
§ 15. Partie chimique de la fabrication du gaz 474

CLASSE 52.

MOTEURS, GÉNÉRATEURS ET APPAREILS MÉCANIQUES SPÉCIALEMENT ADAPTÉS AUX BESOINS DE L'EXPOSITION.

SECTION I.

SERVICE MÉCANIQUE ET SERVICE HYDRAULIQUE,

PAR MM. JACQMIN ET CHEYSSON.

Caractère spécial de la Classe 52 479

CHAPITRE I.

SERVICE MÉCANIQUE.

§ 1. Précédents du service mécanique 482
Importance de la mise en mouvement des appareils exposés. 482
Système suivi en 1855 483
Système suivi en 1862 484
§ 2. Études préalables à l'organisation du service mécanique en 1867 484
Disposition du règlement général 484
Constitution d'une première commission 485
Emploi de l'air comprimé 486
Emploi de l'eau comprimée 487
Emploi de la vapeur d'eau 487
§ 3. Organisation du service mécanique 489
Constitution du Comité d'admission de la Classe 52 489
Division du service en lots 489
Système général de transmission 491
Plate-forme centrale 492
Marchés de force motrice 496

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

Objet du traité 496
Production de la force 497
Bâtiment du générateur 497
Cheminée 497
Générateur 497
Distribution de la vapeur 498
Carneau 498
Tuyaux de vapeur 498
Distribution de la vapeur et écoulement de l'eau de condensation 499
Fourniture de vapeur à des appareils autres que le moteur 500
Fourniture de l'eau 500
Machine motrice 500
Force de la machine 500
Arbres de couche 500
Attaque des arbres de couche 501
Joints et embrayages 501
Calage des poulies 501
Durée du travail journalier 502
Durée de l'entreprise 502
Régularité du mouvement 503
Entretien et graissage 503
Approvisionnement du combustible et enlèvement des cendres 503
Caractère des appareils fournis par l'entrepreneur 503
Propriété des matériaux de l'entreprise proprement dite 503
Somme allouée à M. 504
Délais d'exécution 504
Objets exposés de la Classe 52 504
Points de vue respectifs des Jurys des Classes 52 et 53 504
Câbles télodynamiques de M. Hirn 505
Machines motrices 510
Évaluation de la force des moteurs 514
Chaudières 517

CHAPITRE II.

SERVICE HYDRAULIQUE.

§ 1. Données servant de base à l'organisation du service 520
Évaluation de la quantité d'eau nécessaire au service 520
Besoins du service du parc 521
Besoins du service mécanique 322
Besoins de la population 524
Division du service en deux étages 524

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 2. Service bas 525
Définition et organisation de ce service 525
Remplissage du lac 526
Refoulement dans le réservoir et la canalisation 527
§ 3. Service haut 528
Adoption d'un service distinct de celui de la Ville 528
Réservoir Malakoff 529
Usine hydraulique de la berge de la Seine 529
Emprunts faits à la distribution de la Ville 531
Abonnements particuliers 533
Canalisation 534
Écoulement des eaux 535
Résumé 535
§ 4. Systèmes exposés 536

SECTION II.

MANUTENTION ET APPAREILS DE LEVAGE EMPLOYÉS AU DÉCHARGEMENT ET AU CHARGEMENT DES COLIS,

PAR M. E. HANGARD.

CHAPITRE I.

MANUTENTION.

§ 1. Principes de la manutention à l'Exposition Universelle de 1867. 539
Précédents 539
Principes de la manutention à l'Exposition de 1867 540
Tarif spécial applicable au transport des produits destinés à l'Exposition de 1867. (Note.) 540
Expédition des colis 542
Dates d'admission des colis dans l'enceinte de l'Exposition. 542
Expéditions par chemins de fer 543
Expéditions par eau 543
§ 3. Arrivages 543
Modes d'arrivage des colis dans l'Exposition 543
Arrivages par chemins de fer 544
Arrivages par camions 546
Arrivages à bras et à dos d'homme 546
Arrivages par eau 546
§ 4. Réception des colis 546
Admission des colis aux portes du Champ-de-Mars 546
Réception des colis destinés au Palais 547
Réception des colis destinés au Parc, à la berge et au jardin réservé 548
Quittance de décharge 548

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 5. Déchargement des colis 548
Modes et engins de déchargement des colis 548
Grues de la Commission Impériale 549
Grues de la section anglaise 551
Répartition des grues de la Commission Impériale et organisation de leur service 551
§ 6. Déballage 553
§ 7. Réexpédition 554
Sortie des produits 554
Expéditions par chemins de fer 554
Grues employées au chargement des colis 556
§ 8. Résumé 557

CHAPITRE II.

APPAREILS DE LEVAGE EMPLOYÉS AU DÉCHARGEMENT ET AU CHARGEMENT DES COLIS.

§ 1. Grues fixes 560
Grues de la maison Hte Vivaux et Cie 560
Grues de la maison Martin aîné et Calrow, et de M. Neustadt 563
§ 2. Grues roulantes à bras 568
Grues de la maison Hte Vivaux et Cie 568
Grues de la Société anonyme des Hauts-Fourneaux de Maubeuge 569
Grues de la maison Ricot-Patret 570
Grue-camion de M. Leblanc 570
§ 3. Grues roulantes à vapeur 571
Grues de la section anglaise 571
Grue de M. Neustadt 574
Grue de M. Chrétien 575

SECTION III.

DISTRIBUTION DU GAZ AU PALAIS ET DANS LE PARC DU CHAMP-DE-MARS,

PAR M. GUÉRARD.

§ 1. Organisation du service 578
§ 2. Canalisation et concessions 579
Canalisation 579
Concessions 580

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Pages.

§ 3. Fonctionnement du service. — Compteurs, régulateurs..... 581
Réseau de service..... 581
Compteurs..... 583
Régulateurs..... 584
§ 4. Dépenses du service..... 585

SECTION IV.

VENTILATION DU PALAIS,

PAR M. LE VICOMTE D'USSEL.

§ 1. Ventilation des palais des Expositions précédentes..... 587
§ 2. Conditions générales de la ventilation du palais de 1867.... 588
Ventilation naturelle..... 589
Ventilation artificielle..... 591
Appareils de compression de l'air servant à la ventilation artificielle..... 592
Résultats et prix de revient de la ventilation artificielle.... 594
Résultats du concours de la ventilation artificielle avec la ventilation naturelle..... 595

FIN DE LA TABLE DU TOME VIII.

Paris. — Imprimerie Paul Dupont, rue de Grenelle-Saint-Honoré, 45.

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires

Droits reservés au Cnam et à ses partenaires