Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	**Exposition universelle. 1889. Paris**
Auteur(s)	**France. Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies**
Auteur(s) secondaire(s)	**Picard, Alfred (1844-1913)**
Titre	**Exposition universelle internationale de 1889 à Paris. Rapports du jury international**
Adresse	**Paris : Imprimerie nationale, 1890-1893**
Collation	**19 vol. : ill. ; 29 cm**
Nombre de volumes	**19**
Cote	**CNAM-BIB 8 Xae 348**
Sujet(s)	**Exposition universelle (1889 ; Paris)**
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE348
LISTE DES VOLUMES	
	Groupe de l'économie sociale. Première partie
	Groupe de l'économie sociale. Deuxième partie
	Groupe I. Oeuvres d'art. Classes 1 à 5 BIS
	Groupe II. 1re partie. Éducation et enseignement Classes 6, 7, 8 et 6-7-8
	Groupe II. 2e partie. Matériel et procédés des arts libéraux. Classes 9 à 16
	Groupe III. Mobilier et accessoires. Classes 17 à 29
	Groupe IV. Tissus, vêtements et accessoires. Classes 30 à 40
	Groupe V. Industries extractives, produits bruts et ouvrés (1re partie) Classes 41 à 44
	Groupe V. Industries extractives. Produits bruts et ouvrés (2e partie) Classes 45 à 47
	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (1re partie) Classes 48 et 49
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (2e partie) Classes 50 et 51
	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (3e partie). Classe 52
	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (4e partie) Classes 53 à 59
	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques. Électricité (5e partie) Classes 60 à 63
	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (6e partie) Classe 64
	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (7e partie) Classes 65 et 66
	Groupe VII. Produits alimentaires (1re partie) Classes 67 à 73 (1re partie)
	Groupe VII. Produits alimentaires (2e partie) Classe 73 (2e partie)
	Groupe VIII. Agriculture, viticulture et pisciculture. Classes

	73 Bis à 77. Groupe IX. Horticulture. Classes 78 à 83

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	France. Ministère du commerce, de l'industrie et des colonies
Auteur(s) secondaire(s) volume	Picard, Alfred (1844-1913)
Titre	Exposition universelle internationale de 1889 à Paris. Rapports du jury international
Volume	Groupe VI. Outillage et procédés des industries mécaniques (2e partie) Classes 50 et 51
Adresse	Paris : Imprimerie nationale, 1891
Collation	1 vol. ([4]-570 p.) : ill. ; 29 cm
Nombre de vues	575
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 348 (11)
Sujet(s)	Exposition universelle (1889 ; Paris) Meunerie Boulangerie -- Appareils et matériel Réfrigérations et appareils frigorifiques Chimie - Appareils et matériel
Thématique(s)	Expositions universelles
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	14/09/2005
Date de génération du PDF	01/04/2025
Notice complète	https://www.sudoc.fr/064895084
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE348.11

8° Xae 20 (Le 20e)

RAPPORTS DU JURY

SUR

L'EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Xae 348 11

MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE
ET DES COLONIES

EXPOSITION UNIVERSELLE INTERNATIONALE DE 1889
À PARIS

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL

PUBLIÉS SOUS LA DIRECTION
DE

M. ALFRED PICARD
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES, PRÉSIDENT DE SECTION AU CONSEIL D'ÉTAT
RAPPORTEUR GÉNÉRAL

Groupe VI. — Outillage et procédés des industries mécaniques (2e partie)

CLASSES 50 ET 51





PARIS
IMPRIMERIE NATIONALE

M DCCC XCI

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 50

Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires

---

RAPPORTS DU JURY INTERNATIONAL

PAR

MM. AIMÉ GIRARD, BÉTHOUART, LUCAS, BOIRE, ÉGROT, BARRIER,

A. ROUART, JOULIE, LOMBART

GROUPE V. — II.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COMPOSITION DU JURY.

MM. Girard (Aimé), *Président,* professeur au Conservatoire national des arts et métiers et à l'Institut national agronomique, membre du jury des récompenses à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Meeus (Louis), *Vice-Président,* distillateur à Wyneghem, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878 ..... Belgique.

Millot, *Rapporteur,* professeur à l'École nationale d'agriculture de Grignon, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Rouart (Alexis), *Secrétaire,* ingénieur civil, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Clarck (A.-H.), professor at the Smithsonian institution ..... États-Unis.

Égrot, ingénieur-constructeur, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878 .... France.

Hignette, ingénieur-constructeur, membre du jury des récompenses à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Joulie, pharmacien en chef de la maison municipale de santé ..... France.

Lombart, fabricant de chocolat, membre du jury des récompenses à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Boire, administrateur de la sucrerie de Bourdon, médaille d'argent à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Porion (Eugène), président du syndicat des distillateurs, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878 ..... France.

Lainey, *suppléant,* directeur de la Société des moulins de Corbeil ..... France.

EXPERTS.

MM. Barrier, ingénieur-conservateur des moulins de la manutention militaire.

Béthouart, ancien constructeur de moulins.

Lucas, directeur du laboratoire de boulangerie de la commission des farines.

Régnault-Desroziers, meunier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL DES USINES AGRICOLES

ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

COUP D'OEIL D'ENSEMBLE

SUR LES INDUSTRIES RÉUNIES DANS LA CLASSE 50

PAR

M. AIMÉ GIRARD

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS ET À L'INSTITUT AGRONOMIQUE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL DES USINES AGRICOLES

ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES.

CHAPITRE PREMIER.

COUP D'ŒIL D'ENSEMBLE

SUR LES INDUSTRIES RÉUNIES DANS LA CLASSE 50.

Les industries nombreuses que la classe 50 réunit, et qu'aucun lien ne semble, au premier abord, rattacher les unes aux autres, ont cependant entre elles des relations étroites.

C'est au même producteur, en effet, qu'elles demandent toutes leurs matières premières, c'est au même consommateur qu'elles offrent leurs produits fabriqués.

Acquérir sur le marché les récoltes que le cultivateur y présente, transformer ces récoltes par un ensemble de procédés mécaniques et chimiques, et amener ainsi à la forme marchande les substances utiles à l'alimentation humaine qu'elles contiennent ou qu'elles peuvent engendrer, telles sont les opérations que les unes et les autres accomplissent.

Par leurs soins, le blé se transforme en farines, en pains, en pâtes alimentaires, etc., la canne et la betterave abandonnent à l'homme, sous la forme cristallisée, le sucre que la végétation a développé dans leurs tissus; par leurs soins encore, les grains, les betteraves, les pommes de terre nous donnent et l'alcool que la consommation humaine réclame et les drêches qui, reprises par le cultivateur, iront nourrir son bétail et, dans ses étables, se transformeront en viande.

Approvisionner l'homme en matières alimentaires directement assimilables, tel est, en somme, le but commun des industries que la classe 50 réunit; toutes y concourent, alors même que leur intervention semble imprévue. Et c'est ainsi, notamment, que les machines à produire la glace ou le froid, parce qu'elles sont destinées à combattre l'altérabilité de ces matières alimentaires, y trouvent naturellement leur place, qu'on y rencontre le matériel des fabricants de conserves animales ou végétales, les appareils à pasteuriser les vins, les bières, etc., qu'on y voit figurer enfin, à côté du grand outil-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lage de la meunerie, de la sucrerie, de la distillerie, de la brasserie, etc., les machines plus modestes que met en œuvre l'art du chocolatier, du confiseur, même les petits outils nécessaires à l'apprêt des viandes, des légumes et des fruits.

Et comme, il faut bien le reconnaître, le progrès moral et intellectuel de l'homme est sous la dépendance immédiate de son sort matériel; comme, d'ailleurs, au premier rang parmi les bienfaits que ce progrès réclame figure une alimentation saine, large et économique à la fois, qui assure la force du corps et prépare celle du cœur et de l'esprit, c'est devenu, de notre temps, une nécessité sociale que de perfectionner l'outillage et les procédés des industries alimentaires, de façon à diminuer le prix de revient des produits, tout en élevant leurs qualités.

Aussi, n'y a-t-il pas lieu d'être surpris de l'aspect imposant avec lequel la classe 50 s'est présentée, en 1889, à l'Exposition universelle, de la grande place qu'elle tenait au milieu des merveilles abritées par la voûte du Palais des machines, non plus que de la perfection des engins de toute sorte qu'elle montrait aux visiteurs, engins dont les uns frappaient aussitôt l'esprit par leurs vastes dimensions, dont les autres appelaient l'intérêt par l'ingéniosité de leurs dispositions, comme par le fini de leur exécution.

Sur les 3,000 mètres superficiels qui lui avaient été parcimonieusement mesurés, 250 exposants avaient, avec art [1], aménagé les machines les plus diverses.

Plusieurs moulins s'y étaient établis, complets et travaillant sur blé, comme si le client attendait leur farine; à côté d'eux, de vastes appareils de sucrerie reproduisaient des usines presque entières, tandis que les hautes colonnes des fabricants d'appareils de distillerie s'élevaient jusqu'à 14 mètres de hauteur, dominant de leur grande taille les autres machines exposées.

Sur le bord des allées, de puissantes machines frigorifiques fabriquaient, incessamment, de gros blocs de glace que les visiteurs étonnés voyaient aussitôt dresser en piles transparentes; près d'elles, la fabrication des eaux gazeuses se présentait en pleine activité; plus loin, tournaient les broyeuses à chocolat, les machines à dragées, etc.; de tous côtés, en un mot, c'était la vie, l'animation, la manifestation du progrès.

Tous nos grands établissements, ceux-là surtout qui portent si haut, à l'étranger, la renommée de la construction française, y étaient représentés, tandis qu'à côté d'eux des constructeurs modestes exposaient, eux aussi, des machines, des appareils, des outils remarquables par leur caractère d'invention comme aussi par l'habileté pratique qui en avait dirigé l'exécution.

La construction française, d'ailleurs, n'était pas seule à attirer l'attention des visiteurs qu'intéressent les industries ressortissant à la classe 50. Plusieurs nations étrangères, les États-Unis, la Belgique, la Suisse, etc., avaient, de leur côté, envoyé un contingent de machines du plus haut intérêt.

[1] L'installation de la classe 50 a été fort habilement dirigée par M. Berthot, ingénieur, secondé par MM. Planchon et Schmitt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Et l'on peut dire, sans témérité, qu'à aucune autre Exposition, l'outillage des usines agricoles et des industries alimentaires ne s'était présenté en un ensemble aussi large et aussi complet.

On peut surtout, du moins en ce qui concerne cette classe, tirer du grand concours international de 1889 cet enseignement que, depuis dix ans, l'esprit d'initiative de nos constructeurs est resté aussi vivace et aussi fécond que par le passé, que leur ardeur à la recherche du progrès n'a pas faibli.

Un coup d'œil rapide jeté sur les principales industries qui s'y trouvaient réunies suffira pour l'établir, avant même que d'entrer dans l'étude détaillée de chacune d'elles.

De toutes les industries qui, par leur outillage et leurs procédés, appartiennent à la classe 50, la meunerie est certainement celle qui, en ce moment, présente l'aspect le plus intéressant.

La période décennale de 1878 à 1889 a été, en France, pour l'art de moudre les grains, une période de transformations sans pareille.

C'est à peine si, depuis des siècles, cet art avait modifié ses procédés; sans doute, à une époque qui n'est pas encore bien éloignée de notre temps, vers 1816, on avait vu, dans la plus grande partie de notre pays, la mouture basse se substituer, sous le nom de *mouture américaine*, à la mouture ronde ou demi-ronde; économique, rapide dans l'exécution, elle avait apporté au travail patriarcal de la meunerie une amélioration réelle, mais cette amélioration était loin d'être suffisante. Quelque habile que fût le meunier, en effet, il ne pouvait, en livrant le grain à l'action vive et brusque des meules de pierre, éviter de moudre une partie de l'enveloppe et du germe en même temps que l'amande farineuse. Mélangés à la farine, d'où bluteries et sasseurs ne les pouvaient extraire complètement, ces débris moulus venaient plus tard, surtout si cette farine n'était pas immédiatement mise en œuvre, exercer sur la qualité du pain une action fâcheuse.

Depuis bien longtemps les inconvénients dont s'accompagne le broyage du grain entre meules de pierre avaient frappé les constructeurs et ingénieurs, et beaucoup avaient cherché à substituer au vieil engin de nos moulins des engins à surfaces mieux appropriées, et particulièrement des engins métalliques.

Longtemps infructueuses, les tentatives faites dans ce but avaient fini, il y a cinquante ans, par être couronnées de succès, et, dès 1840, on voyait fonctionner à Pesth, en Hongrie, un grand moulin dans lequel les procédés de la mouture progressive, par passages successifs entre divers jeux de cylindres métalliques, aboutissaient à la production de farines remarquables. A ces farines appartenait une qualité maîtresse; débarrassées complètement de l'enveloppe et du germe du grain, elles avaient, de ce fait, acquis des qualités de conservation telles que, même après un long séjour en magasin, on les voyait fournir des pains blancs, savoureux, bien levés et, par conséquent, d'une digestion facile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'application des engins métalliques à la mouture devait, cependant, être longue à se vulgariser; il y a vingt ans, le nombre des moulins marchant aux cylindres était bien modeste encore, mais, à cette époque même, on vit la situation changer brusquement. Ces engins, auxquels on n'avait, jusqu'alors, accordé qu'une médiocre attention, devinrent l'objet d'une faveur méritée. C'est en Autriche-Hongrie que, d'abord, l'emploi s'en développa, puis en Allemagne, en Angleterre et même aux États-Unis.

Les meuniers français, cependant, ne s'en préoccupaient guère; confiants dans l'ancienne renommée que la belle qualité de leurs farines leur avait faite, ils ne voyaient, en général, dans le nouveau procédé de mouture, qu'un sujet de curiosité.

Il en était encore ainsi en 1878; on ne comptait alors en France qu'un seul moulin à cylindres : celui de Rouen, et c'est chose certainement curieuse que de retrouver aujourd'hui dans le rapport écrit, à la suite de l'Exposition universelle de 1878, par l'un des spécialistes les plus justement réputés de notre pays, cette appréciation que le procédé de la mouture aux cylindres devait être « condamné au point de vue de la consommation française ».

Pour attirer sur ce procédé l'attention de nos meuniers, de graves événements étaient nécessaires, et ces événements n'ont pas manqué de se produire.

Sur le marché des grandes villes, sur le marché parisien surtout, se présentèrent alors en abondance de belles farines blanches et pures, qu'immédiatement la boulangerie de luxe adopta, de préférence aux farines françaises. En même temps, et par un effet contraire, les farines qui faisaient notre renommée à l'étranger cessèrent d'y être recherchées dans la mesure d'autrefois. Les choses vinrent à ce point qu'en moins de dix années (1875 à 1884) nos exportations de farine tombaient de 2,500,000 quintaux à 750,000, alors que, d'autre part, l'importation des farines étrangères s'élevait de 45,000 quintaux à plus de 500,000.

En face d'une situation aussi grave, c'était, pour la meunerie française, chose impossible que de ne pas s'émouvoir; son émotion fut grande, en effet, si grande que la Chambre syndicale des grains et farines de Paris, prenant en main la question, n'hésita pas à entreprendre une expérience industrielle réellement grandiose, au cours de laquelle on a vu, sous sa direction, huit moulins modernes montés suivant des systèmes différents mis en concurrence avec un moulin à meules de pierre, et soumettant à la mouture, en même temps que celui-ci, un égal approvisionnement de deux blés identiques, l'un tendre, l'autre dur.

Pour beaucoup, le résultat de l'expérience était connu à l'avance; la pratique, déjà vieille de vingt ans, des meuniers hongrois, suffisait à l'indiquer, mais les incrédules étaient nombreux, les timides plus nombreux encore; l'incrédulité des uns, la timidité des autres disparurent aussitôt que ce résultat fut rendu public.

Et l'on vit alors, comme cela se produit si souvent dans notre pays, à l'apathie des années précédentes succéder chez nos meuniers un entrain tel que, pour la construction

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

française, ce devint chose impossible que de satisfaire toutes les demandes de transformation qui se produisaient, et que la construction étrangère dut prendre sa part de ces transformations.

Cinq années ont suffi à modifier absolument la situation de la meunerie française; c'est à plus de 1,500 certainement que s'élève aujourd'hui le nombre des moulins qui, en France, ont remplacé les meules de pierre par les cylindres; nos grands établissements, ceux que l'on doit considérer comme les véritables moulins industriels, n'ont plus d'autres engins de mouture, et nombre de moulins plus modestes ont déjà suivi leur exemple.

Les autres suivront; après avoir transformé les grands moulins, en effet, c'est à créer un outillage approprié au travail des petits que la construction vise en ce moment; nul doute qu'elle n'y réussisse.

La nécessité d'améliorer les produits de la mouture est, aujourd'hui, une vérité banale; la légende du pain bis a fait son temps; à tous les consommateurs, riches ou pauvres, il faut, et c'est justice, du pain blanc. Ce pain blanc, le boulanger ne peut le produire qu'en pétrissant une farine pure, exempte des débris de l'enveloppe et du germe. Chacun, aujourd'hui, a le sentiment de cette nécessité, et c'est pour cette cause qu'à l'Exposition universelle de 1889 on a vu se présenter en si grand nombre, non seulement les appareils de production de la farine, c'est-à-dire les moulins, mais encore les appareils de purification, c'est-à-dire les appareils de blutage et de sassage.

C'est à se transformer aussi que la boulangerie est appelée dans un avenir prochain, mais cet avenir, une grave erreur économique le retarde depuis assez longtemps déjà.

Substituer au travail si pénible du pétrissage à bras le pétrissage mécanique est un problème actuellement résolu, et résolu de la façon la plus satisfaisante. Logée dans la caisse du pétrin, remuée par des malaxeurs dont la forme a été savamment calculée, la pâte se délaie, se frase et se souffle aussi bien que sous l'action du bras de l'homme; l'Exposition de 1889 a, sous ce rapport, apporté aux solutions déjà connues des solutions nouvelles et non moins intéressantes.

Ces solutions, les ouvriers boulangers les devraient accepter avec reconnaissance; ils les repoussent, au contraire, sans comprendre que le mérite est plus grand de conduire avec tact, mais sans fatigue, une machine délicate que de développer un effort musculaire auquel l'intelligence reste, en réalité, étrangère; sans comprendre que c'est la conservation de leur santé, la prolongation de leur existence que la mécanique leur apporte. La crainte de voir amoindrir leur salaire est, en cette circonstance, la préoccupation principale des ouvriers boulangers. C'est sur une erreur économique que cette crainte repose; l'habileté intelligente, en effet, trouve toujours un salaire plus élevé que la force brutale.

Aussi est-ce seulement en province, est-ce également dans les établissements industriels, dans les exploitations agricoles, surtout dans les grands établissements publics,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

hôpitaux, collèges, prisons, etc., qu'on a vu, jusqu'ici, les pétrins mécaniques, et aussi les fours perfectionnés se vulgariser; de ce côté, le succès est complet.

C'est, à toute époque, mais c'est surtout aujourd'hui, une situation particulièrement difficile que celle de l'industrie sucrière. Que la matière première exploitée par cette industrie soit la canne ou la betterave, peu importe, il lui faut toujours lutter non seulement contre les difficultés dont s'accompagne la fabrication même, mais aussi contre les difficultés qui résultent d'un régime fiscal toujours exigeant et toujours instable.

Pour tous les gouvernements, la sucrerie est une véritable poule aux œufs d'or; ils lui demandent beaucoup pour l'impôt et quand par un effort d'énergie elle est parvenue à perfectionner outillage ou procédés, de façon à améliorer son rendement, ils lui demandent plus encore.

Jusqu'ici, elle n'a jamais failli, mais pour qui étudie avec soin et avec impartialité les conditions dans lesquelles elle évolue aujourd'hui, il semble que l'heure soit venue de ne plus lui demander de sacrifices nouveaux; sa fécondité n'est pas sans limites.

Ces limites, la sucrerie de betteraves semble les avoir atteintes en France, en accomplissant les progrès remarquables qui ont rempli son histoire, pendant ces dix dernières années.

C'est sur les débuts du travail que ces progrès ontporté; la production d'une betterave riche en sucre, l'extraction presque totale de ce sucre, tels ont été les deux objectifs principaux de l'industrie sucrière française. C'est dans les détails seulement qu'ont été améliorés ses procédés de défécation, d'évaporation, de cuite, de turbinage.

A ce double point de vue, il est vrai, elle avait tout à faire. A côté de nous, l'Allemagne, depuis 1870, avait développé sa fabrication dans une mesure prodigieuse; sa production qui, en 1870, n'atteignait pas 300,000 tonnes, s'était progressivement élevée pour atteindre, en 1884-1885, le chiffre inconnu jusqu'alors de 1,155,000 tonnes; l'Autriche l'avait suivie, la Russie également, si bien que la France qui, depuis le commencement de ce siècle, s'était maintenue au premier rang, se trouvait reléguée au troisième.

Ce n'est pas, d'ailleurs, à un coup de fortune qu'était dû ce changement de situation; culture et fabrication avaient été, de l'autre côté du Rhin, l'objet d'études incessantes et habiles; le procédé par diffusion avait remplacé le vieux procédé par râpage et par pression, et la betterave était devenue assez riche pour que le rendement moyen s'élevât de 5.45 p. 100 en 1879 à 9.11 p. 100 en 1885; il est plus élevé encore aujourd'hui.

Tandis qu'une révolution aussi considérable s'accomplissait près d'eux, nos fabricants, confiants dans leur ancienne supériorité et sans comprendre le danger qui les menaçait, se contentaient des betteraves d'autrefois, à 10 p. 100 de sucre seulement et répétaient sans cesse qu'à ces betteraves pauvres le traitement de la diffusion ne saurait convenir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'étaient là deux erreurs contre lesquelles beaucoup protestaient dès lors, et dont la suite a démontré l'inanité.

Peu à peu, en effet, la lumière s'est faite; quelques cultivateurs intelligents tentèrent d'abord et réussirent, au grand étonnement des esprits routiniers, la culture de betteraves riches à 14 et 15 p. 100; dès 1873, une usine marchant par diffusion fut montée à Verberie; quelques autres suivirent, mais timidement, si bien qu'en 1882, il y a huit ans, nous ne comptions encore en France que 12 sucreries montées d'après ce nouveau système.

La loi salutaire de 1884, en établissant l'impôt non plus sur le poids du sucre fabriqué, mais sur le poids de la betterave, devait bouleverser cette situation.

Tout d'un coup, les préjugés d'autrefois furent abandonnés; tout d'un coup, on reconnut (ce que quelques-uns savaient et même pratiquaient depuis longtemps) que les cultivateurs français sont aussi capables de produire des betteraves riches que les cultivateurs allemands; tout d'un coup, on reconnut que le travail par diffusion convenait aux betteraves françaises, aussi bien qu'aux betteraves allemandes.

Et, comme par enchantement, on vit, en cinq ou six années, notre culture se transformer à ce point, qu'aujourd'hui les betteraves à 10 p. 100 sont inconnues dans nos sucreries, tandis qu'en même temps, 317 usines sur 370 actuellement en travail vendaient à la ferraille leur vieux matériel de râpes et de presses pour y substituer le matériel moderne de la diffusion.

C'est dans ces conditions qu'à l'Exposition de 1889, notre sucrerie de betterave s'est montrée outillée, et c'est à utiliser le même outillage que la sucrerie de canne semble tendre aujourd'hui.

Ce n'est pas tout, et aux progrès réalisés sous le rapport de la culture et du matériel de fabrication, il convient de joindre encore ceux qui, dérivés des travaux de Peligot, ont permis, en créant l'industrie de la sucraterie, d'extraire des mélasses le sucre que les procédés ordinaires de la sucrerie y ont laissé à l'état de sirop.

C'est en pleine marche vers le progrès que la brasserie également s'est présentée en 1889. A la vérité, si l'on ne considérait que la statistique de la consommation générale, on en pourrait douter; cette consommation, en effet, a certainement diminué depuis quelques années, mais c'est sur les petites bières, c'est-à-dire sur une boisson de peu de qualité que cette diminution a porté exclusivement. Quant aux bières alcooliques, riches à 4 et même 5 p. 100, leur consommation a, au contraire, et notablement augmenté.

C'est d'ailleurs en France que ces bières, de qualité supérieure, sont aujourd'hui, et pour la presque totalité, fabriquées. L'importation des bières autrichiennes et allemandes qui, de 1880 à 1885, s'était élevée jusqu'à près de 400,000 hectolitres, décroît rapidement; en 1888, elle n'était plus que de 188,000 hectolitres. D'impor-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tantes usines se sont créées en France, qui, appliquant les procédés autrichiens et allemands, ont, du premier coup, conquis pour leurs produits la faveur du public. Menacées par la concurrence de ces établissements nouveaux, nos vieilles brasseries ont dû, elles aussi, améliorer leurs méthodes de travail, de telle sorte qu'aujourd'hui c'est avec des qualités remarquables que les bières françaises se présentent au consommateur, avec des qualités qui leur permettent de lutter contre les bières étrangères.

C'est sur la conduite du brassage et de la fermentation, sur le choix des orges et des houblons que les progrès accomplis ont principalement porté; le grand outillage de la brasserie n'a, depuis quelques années, subi que peu de modifications.

Mais il n'en a pas été de même pour les appareils destinés au débit de la bière; ceux-ci ont été l'objet de perfectionnements particulièrement ingénieux, destinés à assurer à ce débit les conditions hygiéniques les plus satisfaisantes.

Les désastres infligés à la viticulture par le phylloxera ont fait en dix ans, à la distillerie française, une situation toute nouvelle.

Les vins, devenus rares, ont cessé d'être passés à la chaudière; la production de l'eau-de-vie proprement dite est devenue insignifiante, et pour satisfaire aux besoins de la consommation, il a fallu donner à la production des alcools industriels un développement inattendu.

La distillation de la betterave a été grandissant d'année en année; la distillation des grains, dont l'importance, autrefois, était secondaire, a pris une place prépondérante; la distillation des mélasses, menacée un instant par l'industrie naissante de la sucraterie, a, sous l'influence de mesures fiscales nouvelles, conservé son rang, et la production enfin des eaux-de-vie de cidre, de marcs, de fruits, etc., a pris dans certaines régions, et surtout chez les bouilleurs de cru, une grande extension.

Pour mesurer l'importance de ces transformations, il suffit de considérer les chiffres inscrits dans le tableau ci-dessous et qui, empruntés aux statistiques officielles du Ministère des finances, établissent quelle a été, à trois époques différentes, la part prise à la production de l'alcool en France par ces diverses matières; cette part prise est exprimée en hectolitres d'alcool pur à 100 degrés :

	1840-1850.	1878.	1888.
	—	—	—
Vins	815,000	192,952	41,770
Cidres, marcs et fruits		61,879	61,041
Betteraves	500	331,716	654,700
Mélasses	40,000	646,715	582,452
Substances farineuses	36,000	180,409	794,326
Substances diverses	"	3,466	28,188
TOTAUX	891,500	1,417,227	2,162,483

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un changement d'orientation aussi brusque et aussi considérable devait, nécessairement, apporter à l'outillage de la distillerie de grandes modifications. Au fur et à mesure que disparaissaient les petits ateliers dans lesquels avait lieu, il y a quinze ans, la distillation du vin, on voyait se monter, d'un côté, de nombreuses distilleries agricoles de betteraves; d'un autre, de colossales distilleries de grains et de mélasses. Aux unes et aux autres, il fallait des appareils différents de ceux qui, jusqu'alors, avaient été en usage.

Déjà, en 1878, la distillerie agricole de betteraves avait fixé son outillage, mais la distillerie industrielle des grains, au début même du grand développement qu'elle allait prendre, demandait à la construction un outillage nouveau, remarquable autant par ses dispositions perfectionnées que par ses vastes dimensions.

C'étaient des appareils à cuire le grain sous pression, des cuves pour le brassage au contact du malt vert, des colonnes à distiller enfin, de proportions colossales.

Cet outillage nouveau, nos grandes maisons de construction le présentaient à l'Exposition universelle de 1889 dans des conditions d'exécution particulièrement saisissantes.

A un autre point de vue encore, l'outillage de la distillerie méritait l'attention. Préoccupée des progrès faits par l'alcoolisme, l'hygiène a cru pouvoir chercher l'origine des désordres que ce vice produit non seulement dans l'abus des boissons alcooliques, mais encore dans l'impureté de l'alcool éthylique qui en forme la base. La présence dans les alcools d'industrie des produits de tête (aldéhydes, éthers, etc.) et des produits de queue (alcools supérieurs, etc.) lui a paru de nature à augmenter les troubles dus à l'abus de l'alcool lui-même.

De là, la nécessité, pour la distillerie, de faire subir aux alcools qu'elle produit une purification complète; la nécessité, pour la construction, de lui fournir des appareils à rectifier d'une perfection inconnue jusqu'alors.

L'Exposition de 1889 nous a apporté plusieurs solutions de ce difficile problème, et ces solutions sont telles qu'aujourd'hui rien n'est plus aisé que de retirer des flegmes de betteraves, de grains ou de mélasses, de l'alcool éthylique d'une pureté absolue.

Cependant la construction des petits appareils ne s'est pas ralentie; la distillation est, dans les pays de cidre, devenue l'annexe de presque toutes les fermes, et à chaque bouilleur de cru, il a fallu livrer un petit alambic. Les marcs, d'un autre côté, ont été distillés dans une plus grande proportion qu'autrefois; l'industrie du distillateur ambulant a, de ce fait, acquis une importance plus grande, et, pour la rendre plus facile, de nouveaux alambics sur chariots ont été construits.

A côté des appareils de nos grandes distilleries, l'exposition de ces alambics modestes présentait un intérêt qui, pour être d'une autre sorte, n'en était pas moins attachant.

L'une des sections les plus remarquables de la classe 50 était certainement celle des machines à produire le froid et la glace. On en comptait plusieurs qui, chaque jour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fonctionnant sous les yeux des visiteurs, apprenaient à ceux-ci combien est grande, dès maintenant, l'importance acquise par l'industrie du froid.

Lorsque l'on considère les résultats pratiques si considérables que cette industrie obtient aujourd'hui, l'époque semble déjà lointaine, en vérité, à laquelle M. Ferdinand Carré construisait la première machine à produire le froid par la vaporisation de l'éther; c'est d'hier cependant que date la construction de cette machine; c'est en 1860 qu'elle a fonctionné pour la première fois, et c'est à la même époque que la maison Mignon et Rouart, adoptant hardiment le procédé de M. Ferdinand Carré, construisait les premières machines industrielles, pour M. Velten, de Marseille, pour la Compagnie des produits chimiques du Midi, etc.

Trente ans à peine se sont écoulés depuis cette époque, et aujourd'hui, les constructeurs, les procédés, les applications se sont multipliés à ce point que commander une machine à froid est chose aussi simple que de commander un générateur.

Constructeurs français et étrangers avaient présenté à l'Exposition de 1889 des machines des systèmes les plus variés : machines à affinité et machines à compression, actionnées, les unes par l'ammoniaque, les autres par l'acide sulfureux, les autres par le chlorure de méthyle, etc.

Nombreuses et variées se montraient auprès de ces machines les industries prêtes à les utiliser; brasseurs, fabricants de chocolat, conservateurs de denrées alimentaires, transporteurs de viandes, de poissons, de fruits, etc., tous comprenaient quels horizons nouveaux ouvre au commerce, à l'industrie, à l'alimentation l'emploi du froid appliqué à combattre les altérations microbiennes de la matière organique.

Cet emploi est aujourd'hui entré dans nos mœurs; il ne peut qu'y prendre chaque jour plus solidement racine.

A côté des grandes industries qui viennent d'être passées rapidement en revue, d'autres, bien importantes aussi, s'étaient fait représenter, au Palais des machines, par leur outillage et par leurs procédés. C'étaient l'huilerie et la fabrication des pâtes alimentaires, avec leurs puissantes presses hydrauliques; la fabrication des eaux gazeuses avec ses appareils aussi ingénieux qu'élégants; la chocolaterie et la confiserie, avec les machines variées que comportent le broyage et le moulage du chocolat; la fabrication des dragées, le pastillage, etc.; c'était la fabrication des conserves alimentaires, etc.

Toutes ces industries présentent un égal intérêt, mais toutes aussi affectent, dans leur développement, une allure absolument personnelle. Et c'est pour conserver à chacune d'elles son caractère, que le Jury de la classe 50, au lieu de confier à un rapporteur unique l'examen de la classe entière, a décidé de répartir cet examen entre ceux de ses membres auxquels une compétence spéciale devait donner l'autorité la plus haute.

Le rapport de la classe 50 se trouve ainsi divisé, en dehors de ce préambule, en neuf sections, dont chacune est ci-après traitée par un rapporteur spécial.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces sections et ces rapporteurs sont les suivants :

II. — Meunerie	MM. Béthouart.
III. — Boulangerie	Lucas.
IV. — Sucrerie	Boire.
V. — Distillerie	Boire.
VI. — Brasserie	Égrot.
VII. — Machines à froid	Barrier.
VIII. — Huilerie, vermicellerie	Rouart (Alexis).
IX. — Eaux gazeuses	Joulie.
X. — Chocolaterie, confiserie	Lombart.

A chacun de ces rapporteurs, le président de la classe 50 qui, pendant de longs mois, a pu apprécier leur compétence, leur dévouement et leur affabilité, adresse ici ses remerciements pour leur gracieuse et utile collaboration.

Imprimerie nationale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA MEUNERIE

RAPPORT

PAR

M. A. BÉTHOUART

INGÉNIEUR CIVIL

PRÉSIDENT DU TRIBUNAL DE COMMERCE DE CHARTRES (EURE-ET-LOIR)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE II.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA MEUNERIE.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La science de la meunerie, c'est-à-dire de la transformation du blé en farine a pris dans les Expositions une place considérable.

Cette place lui était due d'ailleurs; l'importance de la meunerie ne peut être niée. Qu'y a-t-il de plus répandu dans l'univers que l'emploi de la farine? Le pain entre dans la consommation générale pour une proportion énorme chez presque tous les peuples.

La production du blé en Europe a été en 1888 de 475 millions d'hectolitres; dans le monde entier, elle a atteint le total de 825 millions d'hectolitres, ce qui donnerait, en admettant le prix moyen de 20 francs l'hectolitre, un mouvement commercial de 16 milliards et demi de francs.

Pour la population de l'Europe qui est de 330 millions d'habitants, la production du blé ne suffit pas; les meuniers ou minotiers doivent importer des blés exotiques afin de compléter la quantité nécessaire à l'alimentation.

En France, il y a soixante ans, la consommation moyenne par tête était de 118 kilogrammes pour une année et de 324 grammes par jour; elle atteignait, il y a une douzaine d'années, 193 kilogrammes et 530 grammes. On peut évaluer aujourd'hui la consommation à 200 kilogrammes par an et à 548 grammes par jour, pour chaque habitant de notre pays.

Ainsi la ration de blé ou de pain de chaque Français aurait, en soixante ans, augmenté de 82 kilogrammes par an, c'est-à-dire des deux tiers. Peut-être dans dix ans elle aura atteint le double de cette quantité, à moins que, par une révolution économique, la viande, qui tend de plus en plus à s'introduire dans l'alimentation de toutes les classes de la société, ne vienne arrêter ce développement; on sait en effet que ceux qui mangent de la viande consomment moins de pain que les autres.

Cette augmentation énorme dans la quantité de pain consommée s'est faite parallèlement avec l'amélioration de la qualité qui a été considérable. A mesure que la situation économique des classes ouvrières devenait meilleure par l'augmentation des salaires,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un besoin de bien-être se produisait chez elles au point de vue de l'habitation, du vêtement et de l'alimentation.

Le pain bis, dédaigné, ne fut plus dès lors la base de la nourriture du pauvre; tous voulurent du pain blanc. L'égalité s'est produite devant cette demande générale et les meuniers, les constructeurs de machines n'ont eu qu'à suivre cette impulsion en perfectionnant les appareils et en améliorant la fabrication.

Il y a un peu plus de cent ans, on crut que la pomme de terre détrônerait le blé. Un engouement incroyable se produisit en faveur du tubercule qui a immortalisé Parmentier; mais bientôt le pain de pomme de terre, qui avait fait fureur sur la table des riches, disparut, rendant la place au pain de farine de blé.

Si la quantité de pain consommée n'augmente plus aussi rapidement qu'autrefois, influencée qu'elle est par la concurrence de la viande dont la consommation, surtout à Paris, va toujours progressant, la farine gagne de plus en plus en qualité, et pour le meunier, c'est une sorte de lutte pour la vie qui le pousse à perfectionner sans cesse son outillage.

Il est donc évident que l'alimentation des peuples européens repose en partie sur le pain, produit de la farine. La réduction du blé en farine tend, par conséquent, à devenir une branche considérable de la grande industrie, et l'on peut voir dans ce fait une des meilleures mesures du progrès de la civilisation.

Quel que soit l'attachement des populations pour certaines préparations de farines spéciales en pâtes, bouillies, gâteaux, etc., procédés anciens qui absorbaient autrefois près de la moitié des céréales de l'Europe, on peut dire, avec certitude, que ces méthodes, différentes suivant les nationalités, déjà en décroissance, disparaîtront pour ne laisser subsister que la réduction rationnelle du blé en farine, propre à faire le pain.

La civilisation se raffinant, le blé sera traité de plus en plus pour donner une farine devant servir à faire le pain; les riches, en effet, l'associent aux aliments les plus variés et les pauvres l'incorporent aux corps gras de la façon la plus économique.

Chaque contrée d'ailleurs manifeste ses préférences, suivant ses anciens usages, ses traditions; mais chez tous les peuples, dans toutes les classes, la recherche du pain blanc, provenant de farine blanche et bien fabriquée, invite d'une façon absolue les meuniers à améliorer leur matériel.

Avant d'entrer dans les détails de la mouture, il est bon de signaler le changement qui s'est produit dans les allures de la meunerie.

Dans un certain nombre de petites usines où la force motrice est faible, le mécanisme est resté primitif; c'est là que l'on travaille encore à façon pour le public. Le paysan apporte son blé au moulin; il en retire les produits et le meunier est payé de son travail par de l'argent ou par une dîme en nature.

Ce système de mouture à bis tend à disparaître. Le paysan s'aperçoit qu'il vaut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mieux vendre son blé au marché et acheter de la bonne farine ou même le pain tout fabriqué chez le boulanger. Il y trouve son compte pour sa bourse et pour la qualité.

Les moulins à blanc ou les minoteries, autrefois inégalement répartis sur les rivières, ont subi un groupement tout autre, provoqué par l'établissement des voies ferrées et la vulgarisation des machines à vapeur. Un certain nombre ont disparu, la force naturelle étant utilisée pour une autre industrie; d'autres, au contraire, établis dans un pays de production de blé, à proximité d'une gare de chemin de fer ou d'un canal, près d'une ville, près d'un port, ont vu leur importance s'accroître.

En Hongrie, à Buda-Pest; aux États-Unis, à Minneapolis; en Russie, à Odessa, il a été établi des moulins d'une énorme puissance de production. La banlieue de Paris en comprend un grand nombre de moindre importance relative, sauf en ce qui regarde les moulins de Corbeil qui peuvent être classés parmi les premiers. A Marseille et dans ses environs, existe un groupe important de minoteries alimentées par les blés du Levant et de la mer Noire; en Espagne, à Barcelone, un certain nombre de minoteries se sont établies, desservies par le port magnifique de cette ville.

Dans ces conditions, l'approvisionnement est facile et les produits peuvent être écoulés sans peine, la position des usines étant bien choisie pour les voies de communication et les énormes populations voisines qui ont besoin de pain.

L'extension du réseau des chemins de fer et des canaux, dans chaque pays, a modifié les conditions économiques du commerce local. Il s'est produit une amélioration générale; tout le monde en a profité : le consommateur en payant le pain moins cher, le cultivateur en économisant les frais de transports du blé et le meunier en obtenant de grandes facilités commerciales.

Il en est résulté une sorte d'unification dans les prix, et l'on ne voit plus les écarts énormes de la valeur du blé dans les provinces éloignées d'un même pays comme au commencement du siècle.

La navigation à vapeur, qui a pris tant d'extension depuis quelques années, a permis de porter rapidement aux pays éloignés souffrant de la disette, les blés récoltés en abondance dans certaines contrées; elle a pu ainsi servir presque de régulateur aux divers marchés.

Les professions de meunier et de constructeur d'appareils de meunerie qui sont liées, laissées jusqu'alors un peu à l'écart, ne tenant pas dans le monde scientifique la place qui leur est due, se sont relevées depuis quelques années dans l'opinion publique. L'importance de leurs affaires, la puissance de production de leurs usines, les perfectionnements de leurs appareils, les ont mises en relief.

On a vu la routine battue pour toujours, et la mouture du blé devenir un art véritable. Une science appliquée nouvelle a été créée et l'on peut dire aujourd'hui que la meunerie fait de l'industrie scientifique.

Les meuniers ont été conduits dans cette voie féconde par des hommes d'initiative, des savants, des chimistes, qui, ayant étudié le blé dans sa structure, dans sa compo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sition, ont su donner d'utiles avis pour la réduction du blé en farine. Ces hommes dévoués ont apporté à la masse commune leur instruction, leur esprit de méthode et, suivant le travail dans toutes ses phases, à chaque pas, à chaque opération, ils ont corrigé les idées fausses et amené la transformation des moulins.

Mais on n'est pas arrivé en un jour à un pareil degré de perfection; ce n'est qu'après de longs efforts pendant près de 80 années que le résultat a été acquis et il peut être bon de jeter un coup d'œil en arrière pour ne pas laisser se rompre la chaîne qui lie les choses du temps présent à celles du passé. Cela est même nécessaire pour découvrir et signaler la loi du progrès afin de s'en aider pour préparer l'avenir.

Nous ne remonterons pas plus haut dans l'histoire des moulins; les procédés des anciens sont restés primitifs et stationnaires pendant des milliers d'années; la force motrice naturelle n'était guère utilisée, l'art du constructeur hydraulicien n'existait pas et le travail fait à la main exigeait un personnel nombreux pour produire une mince besogne.

Les améliorations successives apportées dans les procédés de réduction du blé se sont adressées tour à tour aux différentes phases du travail, et il semble que, pour les faire mieux apercevoir, il convienne d'indiquer les divers perfectionnements en traitant des opérations mêmes de la minoterie; c'est ce que nous ferons.

Ces opérations sont au nombre de trois ou appartiennent à trois groupes principaux qui sont :

I. Le nettoyage du blé.

II. La mouture ou réduction du blé, comprenant le broyage ou séparation de l'amande et de l'enveloppe et le convertissage ou réduction de l'amande en farine.

III. Le blutage avec sassage ou épuration complète de la farine.

En ajoutant à l'outillage de ces trois groupes le matériel des magasins à blé ou élévateurs, et celui qu'exige la conservation des farines, on aura compris toutes les machines de moulins figurant dans la classe 50 à l'Exposition universelle de 1889.

D'une façon générale, l'Exposition de la classe 50, en ce qui concerne la meunerie, a présenté un véritable caractère de grandeur; les constructeurs français et étrangers ont rivalisé pour donner le plus d'importance à leur exhibition.

Des usines complètes, à plusieurs étages, se sont élevées dans la galerie des machines et à l'Esplanade des Invalides; alimentées de blé, elles ont fait la démonstration du travail de la réduction du blé en farine sous les yeux du public; d'autres constructeurs ont fait fonctionner seulement les appareils qu'ils voulaient mettre en évidence.

La foule envahissait ces usines, avide de s'instruire; la curiosité qui y menait certains visiteurs produisait aussi un bon effet, puisque sans les chercher ceux-ci acquéraient des connaissances nouvelles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les meuniers de toutes les parties du monde se pressaient devant les machines exposées, les étudiant, les comparant entre elles, jugeant le travail fait devant eux.

Grands et petits, les exposants ont été à même de faire la démonstration de leurs idées sur la mouture; ils ont eu un nombreux public pour les entendre et pour examiner leurs appareils. La concurrence établie entre eux a permis aux intéressés de choisir suivant leurs préférences, lorsque la réunion de tant de machines, presque toutes également bonnes, ne les troublait pas un peu, et dans cette lutte loyale, il y a eu beaucoup de vainqueurs.

I. NETTOYAGE DU BLÉ.

C'est chose nécessaire d'avoir du blé bien propre lorsqu'on veut obtenir de bons résultats à la mouture, quel que soit le système suivi; il faut aussi que le nettoyage s'effectue avant les premières opérations de la réduction, les bluteries métalliques ou à extraire n'étant pas disposées pour la séparation des impuretés, une fois qu'elles se trouvent réduites à un état de division semblable à celui des parties farineuses.

Le point précis où doit s'arrêter le nettoyage a, en outre, été l'objet de bien des discussions, car un nettoyage poussé trop loin peut amener une production de farine, et par suite, une perte de rendement.

On s'est longtemps demandé comment on pourrait arriver à nettoyer le blé d'une façon parfaite, sans aucune perte de ses parties utiles et en affaiblissant suffisamment son enveloppe pour en assurer le traitement convenable dans les différentes phases de la mouture.

L'action du blé contre le blé était autrefois regardée comme excellente en principe, mais en pratique cette action est plus imaginaire que réelle. On sait aussi que le son a la propriété de nettoyer par friction, et on a essayé de frotter le blé contre son enveloppe même. Il n'y a pas eu jusqu'à présent d'expérience concluante à ce propos.

Une question capitale, incomplètement étudiée jusqu'en ces derniers temps et sur la solution de laquelle tous n'étaient pas d'accord, s'est présentée à M. Aimé Girard.

Il s'agissait de savoir si dans le grain de blé, toutes les parties possèdent la propriété utile des matières alimentaires. Faut-il par conséquent faire entrer dans la farine qui fera notre pain le produit entier de la mouture ou faudra-t-il au contraire en éliminer l'enveloppe et le germe?

M. Aimé Girard, après avoir étudié l'anatomie du grain de blé, a démontré que ni l'enveloppe, ni le germe, bien que présentant la composition des matières nutritives, ne doivent être conservés dans la farine. Ils doivent être rejetés parce que l'enveloppe n'est pas assimilable et parce que le germe, bien qu'assimilable, s'oppose à la panification, d'où résulte une perte de qualité.

La publication des travaux de M. Aimé Girard en 1884, au moment où les meuniers hésitaient à prendre les procédés employés en Autriche et en Allemagne, les a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

décidés à les adopter et c'est de là que part l'extension de la méthode par les cylindres en France.

Les constructeurs cherchaient, il y a quelques années, la simplicité dans le dispositif de leurs appareils; ils étaient poussés dans cette voie par leur propre intérêt, les meuniers exigeant un montage d'usines économiques.

Exiger cependant la simplicité avant tout, c'est reculer. Il faut subir la loi du progrès et la route pour les futures améliorations doit être tracée.

En remontant à 1789, restant ainsi dans le centenaire, le nettoyage était absolument sommaire : un émotteur, quelquefois un ventilateur-cribleur, voilà tout. Et cependant alors l'agriculture, manquant de machines, livrait aux moulins des blés impurs et sales.

Autrefois les tarares de fermes traitaient le blé d'une façon insuffisante; mais depuis 30 à 40 ans, les batteuses mécaniques, d'ailleurs bien perfectionnées depuis, ont permis de livrer aux moulins des blés plus propres. Le batteur et le tarare après lui enlèvent au grain de blé une partie de sa poussière; on est même arrivé dans les batteuses à classer le grain par grosseur, avant sa livraison au moulin.

On a alors, et successivement depuis une trentaine d'années, employé des épierreurs, des tarares américains, des ventilateurs, pour retirer les pierres, les mottes, les paillons, la ficelle. Le vent emporte la bosse ou pourri, le petit blé, le blé maigre ou avorté, les criblures, la balle ou épillon, en même temps que la poussière et les petites graines noires légères.

Au moyen des cylindres épointeurs en tôle d'acier ou eurêkas, des trieurs, cribleurs, brosses et d'autres tarares, cylindres polisseurs ou autres, les poils du blé sont tondus et la poussière adhérente à l'écorce enlevée; le blé bouté, le blé cassé, le blé inférieur, les graines rondes, noires, le reste de la poussière, tout disparaît.

Quand le blé est trop sec, on le fait passer dans un appareil mouilleur; pendant la réduction sous les cylindres, le son sera alors moins coupé, plus large, ce qui permettra d'obtenir une farine plus blanche et moins piquée.

Le petit blé recueilli sera traité dans un nettoyage à part. Certains blés, très sales, doivent être lavés; dans des cas très rares on fait subir au grain une décortication partielle.

Avant d'arriver au broyage, le blé nettoyé glisse sur un appareil magnétique qui arrête les clous et les pointes.

L'emploi des classeurs semble s'imposer pour les blés travaillés par cylindres; il ne paraît pas indispensable pour ceux passant sous les meules.

En effet, dans les meules, les arêtes de la pierre travaillante décrivent un même plan horizontal et cisaillent les grains de blé, puis les rayons ayant une profondeur et une largeur décroissante du centre à la circonférence, la meule peut traiter un mélange de grains de diamètres inégaux.

Dans les cylindres au contraire, il y a roulement des arêtes parallèles; les canne-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lures ont partout la même profondeur et la même largeur; il faut donc que les grains aient le même diamètre, d'où la nécessité d'adopter des classeurs.

L'outillage s'est donc compliqué chaque jour et cela ne peut être évité, parce que le consommateur veut de plus en plus des produits parfaits; la première opération, qui est le nettoyage, ne doit délivrer au broyage que des blés absolument propres.

Le blé doit être parfaitement nettoyé pour ne pas apporter dans la farine de matières étrangères; les grains doivent être brossés et polis, nettoyés à fond, mais il ne faut ni les casser, ni les user. Il faut donc agir doucement, lentement, dans les diverses opérations qui précèdent le broyage.

On n'obtiendra une farine blanche qu'à la condition que le blé ait été parfaitement nettoyé; l'importance du nettoyage se dégage de ce principe absolu.

Tout se tient en effet dans l'outillage; tout progrès dans une phase du travail de mouture en appelle nécessairement d'autres dans les autres phases. Il en résulte que la transformation commencée sur un point du moulin, s'étend peu à peu et inévitablement à toutes ses parties. Il ne peut donc plus exister de moulins simplement et économiquement montés.

L'Exposition Universelle de 1889 montre dans la classe 50 les appareils des constructeurs français et étrangers pour le nettoyage du blé; nous citerons les plus intéressants parmi cette nombreuse collection.

APPAREILS DU NETTOYAGE DU BLÉ.

Nous suivrons l'ordre du travail auquel le blé est soumis dans le nettoyage, et citerons, au fur et à mesure, les appareils utilisés pour chaque opération.

1° Nettoyages complets.

Certains constructeurs ont groupé dans un appareil unique tout l'outillage concernant le traitement du blé. Ils ont voulu obtenir à la fois la simplicité et l'économie, mais cette concentration de tous les appareils, un peu resserrés, ne donnant pas à chacun le développement qui lui est nécessaire, ne permet pas d'obtenir un nettoyage du grain suffisant pour le bon résultat des opérations futures.

Leurs efforts sont louables cependant et depuis de longues années ils ont rendu de réels services à la petite meunerie qui veut du bon marché et n'a qu'une faible force à sa disposition.

Ces appareils produisant le nettoyage complet ont d'ailleurs été notablement perfectionnés depuis dix ans; les ateliers les plus considérables s'en sont occupés et il a été fait des efforts sérieux pour donner satisfaction à la petite meunerie.

C'est ainsi que l'appareil de nettoyage complet de MM. Thomas Robinson et fils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(Angleterre) comporte, concentrés dans un petit espace, les outils principaux du travail du blé.

On remarquera qu'en traversant le nettoyeur, le blé frotte contre le blé dans un cylindre en fonte durcie, cannelé et conique dans la première moitié; de là à travers une tôle d'acier percée de trous, la poussière et la barbe du blé s'échappent.

C'est là l'application d'un principe que nous avons exposé au début de ce rapport; traiter le blé, surtout le blé tendre, doucement, afin d'éviter les cassés.

MM. Rose frères de Poissy, Hignette de Paris, la Société générale meulière de la Ferté-sous-Jouarre, MM. Millot (Suisse), Laurent frères et Collot de Dijon, les gendres de Lhuillier de Dijon, Pasteger (Belgique), Schweitzer de Paris, ont aussi imaginé de réunir les divers appareils du nettoyage pour en composer un ensemble économique et tenant peu de place.

Le blé est également émotté, épointé, vanné, trié, criblé par les machines de M. Muzey d'Auxerre, produisant en plus le fendage du blé, et de M. Dupetit-Sellier d'Amiens (nettoyage Jérôme-François, perfectionné successivement depuis cinquante ans).

M. Vève, dans le même ordre d'idées, a imaginé de réunir dans le même bâti l'émotteur, le décortiqueur, le ventilateur, une brosse à blé montée sur une courroie, le sasseur diviseur et le mouilleur essoreur. Le groupement un peu confus des organes de cette machine en rendrait l'emploi, sans modifications, assez difficile.

Les petits meuniers devraient acheter des blés propres autant que possible; ils n'ont en effet, ni la force motrice ni l'espace nécessaires, ni les capitaux suffisants pour une installation parfaite de nettoyage. C'est malheureusement souvent le contraire qui se produit; on veut le bon marché sur la matière première, le blé; et dès lors des petits moulins il ne peut sortir le plus souvent qu'une farine inférieure de qualité et d'un prix à peine rémunérateur.

Cependant l'élan est donné. Les constructeurs de premier ordre, après avoir établi l'outillage perfectionné des grandes usines, ont étudié l'amélioration des petits moulins dans toutes leurs parties, et le nettoyage complet, à bas prix, a pris un grand développement dans toute l'Europe.

2° Laveuses à blé.

Les laveuses à blé sont principalement employées pour le traitement des blés durs, d'origine des pays chauds, récoltés par une population de paysans qui manquent d'outillage pour le battage du grain.

Ces blés contiennent des pierres, des grains creux ou avariés, des mottes de terre, de la boue adhérente, du charbon provenant des bateaux, etc.; ils sont fort sales et doivent être soumis à un nettoyage énergique.

Les blés des Indes, du Levant, de la mer Noire sont ordinairement livrés aux mou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lins dans ces mauvaises conditions, et les usines de la Russie méridionale, de la Turquie, de la Grèce, de l'Égypte, de la Tunisie, de l'Algérie, de l'Espagne et de la banlieue de Marseille ont dû avoir recours aux laveuses pour le traitement de ces blés.

Dans la laveuse de M. Louis Demaux, de Toulouse, le blé, après avoir passé dans un crible émotteur, tombe dans une cuve ronde en tôle, dont le dessous, en fonte, a la forme d'un entonnoir muni au centre d'une soupape en tôle perforée.

L'eau arrive en dessous sous une pression de 1m50 à 2 mètres. Le blé, la cloque ou blé noir, le grain creux ou avarié, l'ivraie, la paille, la poussière, etc., en un mot toutes les matières étrangères plus légères à volume égal ne peuvent descendre. Chassés par des palettes fixées à un axe central, ils s'en vont par un orifice latéral; mais cet agitateur a détaché la poussière, qui s'échappe en partie avec les matières les plus légères par un trop-plein au niveau supérieur de l'eau

Des palettes droites, attenantes aux parois de la cuve, empêchent le blé de faire plusieurs tours. Ceci doit être évité, car restant trop longtemps dans l'eau, le blé serait trop mouillé; la réduction en farine deviendrait alors difficile et même impossible pour les blés tendres.

Les pierres, plus lourdes, tombent au fond et passent par la soupape; il en reste cependant un peu, les plus légères; elles sont entraînées avec le blé dans une rigole inclinée faisant suite à l'orifice latéral, et elles sont retenues par les barreaux d'une petite échelle de fer ou sablière.

Le perfectionnement apporté à ce cuvier par M. L. Demaux permet donc au blé de faire un court séjour dans l'eau, et les blés tendres peuvent ainsi supporter le lavage.

Le blé, après la rigole, va au cylindre vertical qui le secoue énergiquement; il s'y égoutte et passe dans un autre cylindre parallèle, sécheur celui-là, d'où il sort sec pour être distribué au broyage.

M. A. Maurel, de Marseille, expose une laveuse à peu près semblable. MM. Thomas Robinson et fils, la Société générale meulière, M. Pasteger (Belgique) ont imaginé des laveuses à blé, basées sur le même principe.

La dépense d'eau n'est pas excessive, un mètre cube d'eau suffit pour le lavage de trois hectolitres de blé.

On peut donc arriver par l'emploi de ces machines, indispensables pour le traitement de certains blés durs, à extraire toutes les pierres, depuis les grosses jusqu'aux plus fins graviers, en même temps que la terre qui les souille.

Le mouillage un peu fort auquel le blé dur a été soumis en facilite la mouture; le son sera large, plat, sans frisures, et la farine blanche, non piquée.

3° Nettoyage simple à sec.

Lorsque le blé est livré par le cultivateur au meunier, il contient des graines de plantes fauchées avec lui, des mauvaises graines, et en outre du paillon, de la balle,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des pierres, des mottes de terre, de la poussière, du charbon, de la ficelle, etc., toutes matières qui se sont mélangées au grain au moment du battage et pendant le transport.

Il est nécessaire avant tout d'avoir un système bien défini pour le nettoyage du blé, comme pour la mouture; les meilleures machines peuvent perdre la moitié de leur efficacité si chacune d'elles n'est pas employée à point.

Les meuniers doivent chercher aussi à placer les appareils de nettoyage dans un endroit de l'usine, facile d'accès, isolé du bâtiment principal, si c'est possible. La visite doit en être fréquente, le graissage facile, car l'incendie d'un moulin commence presque toujours par le nettoyage.

De leur côté, les constructeurs ont simplifié les commandes; ils ont donné de larges portées aux paliers, équilibré avec soin toutes les parties motrices à cause de la vitesse assez grande des appareils; comme la puissance de travail est forte, ils ont donné aux bâtis une certaine masse qui assure la stabilité.

Les premières opérations consistent à retirer la poussière, les graines légères, les paillons, les ficelles, les pierres et autres impuretés. Elles permettent de mélanger utilement les blés étrangers, qui arrivent souvent fort sales, avec les blés d'Europe.

Émotteur aspirateur.

Le blé est d'abord soumis à une action puissante d'aspiration qui enlève la poussière et les graines légères; il passe sur un tamis vibrant qu'il traverse, tandis que les paillons, les ficelles, le bois éclaté et autres grosses impuretés sont éliminés.

Par un second courant d'air, la poussière qui reste est entraînée; à plusieurs reprises d'ailleurs, le blé doit subir l'action d'autres aspirateurs.

Épierreur émotteur.

On retire les pierres du blé dans certains cas au moyen d'un appareil spécial dont le type principal, déjà ancien, dit épierreur Josse, a été perfectionné par M. Hignette, de Paris.

Cet appareil est de construction simple. Il se compose d'une table légèrement inclinée à l'horizon et munie de chicanes. Le blé dans un mouvement de va-et-vient est rejeté de l'une à l'autre, et les pierres égales aux grains de blé ou plus grosses, ainsi que les autres matières lourdes sont éliminées.

Mais les secousses transversales sont assez fortes et produisent la dislocation des planchers : on doit donc autant que possible installer les épierreurs au rez-de-chaussée. De plus la marche en est bruyante et la poussière qui se dégage au-dessus de l'appareil a bientôt fait de remplir la chambre.

L'épierreur est utilement employé dans nombre de moulins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tarare aspirateur.

Un outil, modeste en apparence, mais qui rend des services énormes pour le nettoyage du blé, c'est le tarare aspirateur.

Connu depuis longtemps dans toute l'Europe, il a été transformé, amélioré, par un Américain, M. Childs, et vulgarisé en France par MM. Rose frères, qui l'ont notablement perfectionné depuis vingt-cinq ans.

Tous les constructeurs ont adopté ce tarare, dit américain, et chacun a apporté dans la construction ses idées personnelles. Le point de départ n'a cependant guère varié.

Le blé tombe dans le conduit d'aspiration en une large nappe; les grains de faible densité, c'est-à-dire de mauvaise qualité, sont enlevés par un courant d'air qui va de bas en haut. On règle la dépression dans la chambre au moyen d'une soupape atmosphérique.

Si certains grains, avariés, légers, sont entraînés avec les bons grains plus lourds, une seconde aspiration, plus énergique, détermine ensuite leur séparation.

M. Hignette réunit les deux aspirations dans un même appareil, il a même construit un tarare à triple aspiration; mais il semble qu'il n'y ait pas lieu de chercher à trop faire produire au même appareil, le classement ainsi obtenu pour le grain ne pouvant être suffisant.

Il faut se borner à retirer les corps plus légers que le blé, en agissant par le poids spécifique du grain; les blés avariés, germés, etc., de volume égal au bon grain, mais plus légers, seront ainsi enlevés. Il en est de même pour l'avoine, l'orge, le seigle, la cloque, l'ivraie, la nielle, la paille, etc., qui sont emportés en grande partie avec la poussière non adhérente.

MM. Brault, Teisset et Gillet, de Chartres, Caramijà-Maugé, Millot, Schweitzer et autres, établissent les tarares américains dans des conditions sensiblement pareilles de construction, de prix et de rendement que les mécaniciens précédemment cités.

MM. Th. Robinson et fils, Daverio (Suisse), Siméon Howes (Angleterre), fabriquent des tarares en zigzag, où le blé est davantage secoué; la double ventilation, qui est énergique, produit de bons résultats, mais le travail est un peu forcé, la couche du blé plus épaisse, et il manque en somme un peu de douceur dans le traitement du grain.

Cribleurs.

On adjoint souvent au tarare américain un émotteur et un cribleur cylindrique sur le même bâti. Les corps étrangers plus ou moins volumineux que renferme le grain, sont ainsi retirés avant le passage dans le tarare proprement dit, quel que soit leur volume.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les cribles, qu'ils soient plans, cylindriques ou prismatiques, toujours garnis de tôles découpées, séparent du blé les corps plus petits, plus gros, plus longs et moins larges; le résultat dépend des numéros des tôles perforées, choisis suivant les contrées de production du blé.

Le crible calibreur à mouvement rotatif de MM. Th. Robinson et fils est suspendu par quatre lanières de cuir à deux barres fixes. La table est quadrangulaire, le mouvement donné par un axe vertical fixé à la table sur un excentrique lui impose un mouvement d'oscillation horizontale. L'appareil tient peu de place, a une grande capacité et produit un bon effet.

Trieurs.

Cette première épuration étant réalisée, il convient de retirer les graines longues et rondes, ayant le même diamètre transversal que le grain. L'orge, l'avoine, la nielle, la vesce et autres doivent être enlevées; autrement à la mouture il se produirait des taches noires dans la farine.

Un autre inconvénient résulterait de la présence des graines oléagineuses; celles-ci encrassent les cylindres et les meules.

Tous les trieurs dérivent de celui de M. Vachon; ils sont à alvéoles, plus ou moins perfectionnés, et leur emploi s'est répandu dans le monde entier.

Déjà, en agriculture, le trieur est utilisé pour une première épuration avant la livraison du blé au moulin; mais l'appareil n'existe pas dans toutes les fermes et l'opération doit être reprise dans les usines.

Les graines rondes et longues sont enlevées dans le cylindre trieur au moyen d'alvéoles spéciales. La forme intérieure, bien étudiée, de cette alvéole, permet d'obtenir un triage parfait et rapide.

Le blé trié est divisé en trois sortes : le très petit, le moyen et le gros. Un régulateur permet de graduer les déchets; au moyen d'une reprise automatique et continue, on évite toute perte de blé.

MM. J. Marot et fils, de Niort, ont présenté un trieur bien compris. A l'alvéole, ils ont fait venir une lèvre pour faire mieux sortir le grain; des morceaux de cuir raclent les blés engagés qui dépassent et restent prisonniers dans les alvéoles.

MM. Th. Robinson et fils, Rose frères, les gendres de Lhuillier, Hignette, Millot, Daverio, Caramijà-Maugé, Maurel, Schweitzer ont imaginé des trieurs à graines rondes et longues, bien étudiés et dont l'emploi s'est généralisé dans tous les moulins de l'Europe.

Colonnes, eurêkas, brosses à blé.

On a employé pendant de longues années, comme appareil principal du nettoyage du blé, la colonne à tôle-râpe, verticale ou horizontale, cylindrique ou conique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un cylindre plein garni de tôle-râpe tourne rapidement dans un autre cylindre à jour, immobile, également revêtu de tôle-râpe. L'intervalle qui les sépare n'atteint pas un centimètre.

Le blé passant dans cet intervalle reçoit l'action assez brutale des aspérités des tôles; la poussière détachée est enlevée par un aspirateur attenant à l'appareil.

Mais les tôles-râpes, trop vives, piquant, poinçonnant, arrachant et dépouillant l'enveloppe du blé, il se produit dans la mouture des particules de son, des rousseurs ou piqûres. Les farines sont alors rougies et perdent de leur qualité. Il en est de même pour les gruaux; de plus, les sons deviennent plus frisés, moins larges.

On a obvié à cet inconvénient depuis une vingtaine d'années, en remplaçant les tôles-râpes par des toiles métalliques en acier, sur lesquelles le frottement du blé est beaucoup plus doux, ou mieux encore, à l'intérieur on s'est contenté de palettes hélicoïdales fixées sur un arbre central.

La colonne épointeuse de MM. Rose frères reproduit cette disposition. Elle est à fil d'acier, l'appareil est tout entier métallique, ce qui donne plus de stabilité et écarte tout danger d'incendie.

A la suite, une brosse verticale, à pression variable, détache les parties cotonneuses touchées par l'épointeuse; elle lustre et polit le grain, elle nettoie la fente du blé.

Le grain est en outre débarrassé des pellicules, poussières et germes attaqués par les appareils qui précèdent la brosse; un aspirateur entraîne toutes ces matières légères.

La colonne épointeuse de M. Hignette, à bâti en fonte, solidement établi, comprend une série de cônes fixes entre lesquels s'intercalent des cônes mobiles. Le blé circule dans les intervalles et la surface travaillante est ainsi considérable.

Par deux brosses fixées sur le même appareil, ce qui reste de poussière dans la fente du blé est enlevé.

Depuis quelques années, la combinaison de la colonne avec la brosse jouit d'une grande faveur dans le monde entier; on obtient ainsi un appareil unique aidé d'un puissant tarare.

Dans la brosse Eurêka de MM. Brault, Teisset et Gillet, le blé passe entre une série de plateaux-brosses superposés deux à deux; une aspiration énergique est établie à l'entrée du grain comme à la sortie.

Cet appareil produit un très bon effet.

L'Eurêka-brosse de M. Siméon Howes est aussi muni de deux aspirateurs, l'un placé en avant à l'entrée du blé, l'autre après sa sortie pour le purifier entièrement.

Le constructeur a pour but, dans ce cas, de débarrasser le blé de toute matière étrangère sans attaquer l'écorce; le principe qu'il applique est bon. M. Siméon Howes présente aussi une brosse bien comprise qui fait suite à l'Eurêka nettoyeur et le complète.

MM. Millot, Pasteger, Goubet (Belgique), Schweitzer, Maerky-Haller et C^ie^ (Suisse), présentent des Eurêkas à batteurs en acier et à brosses fixés sur un arbre central et

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entourés d'une chemise en tissu de fil d'acier ou bien d'une tôle à trous allongés. Un fort ventilateur emporte les impuretés détachées du grain par le frottement des batteurs et des brosses.

Des brosses à blé sont construites aussi par MM. Daverio, Dardel de Melun, les gendres de Lhuillier.

Un appareil différent construit pour le même objet est celui de MM. Th. Robinson et fils. Après avoir subi l'effet d'un aspirateur, le blé passe par un cribleur qui en extrait les pailles, pierres, graines, impuretés plus grosses que lui. Il arrive dans l'épurateur où les grains frottent les uns contre les autres dans un cylindre conique en fonte dure à perforation oblongue. La poussière et les barbes détachées qui traversent ce cylindre se déposent dans une chambre spéciale.

En sortant du nettoyeur, le blé est encore soumis à une forte ventilation, à la suite de laquelle le grain se montre propre et poli.

On évite ainsi, par le frottement du blé contre lui-même, la percussion violente du grain contre les parois métalliques, si nuisible aux blés tendres.

Une brosse à blé bien combinée, des mêmes constructeurs, permet de compléter la précédente opération. Le blé, étalé en couche mince, est soumis à l'action puissante d'un aspirateur, qui enlève les poussières et pellicules avec les graines légères et les impuretés plus lourdes dont elles sont séparées en même temps.

A l'intérieur du cylindre en fonte durcie, percé de trous par où s'échappe la poussière provenant du brossage, tourne à une grande vitesse un tambour sur lequel sont fixées les brosses. Le blé reste constamment en dehors de ce cylindre, il est soumis à un brossage continu de toute la longueur du cylindre.

Pendant la marche, les brosses peuvent être rapprochées ou écartées suivant la nature des blés traités, comme dans presque tous les appareils similaires.

On doit éviter de décortiquer partiellement le blé, en employant des appareils trop énergiques; la mouture en souffrirait. Cette opération partielle du décorticage ne peut être utile que pour le traitement des blés échauffés ou avariés, afin d'en retirer le mauvais goût ou l'odeur.

Mouilleurs.

Il est bon de mouiller les blés avant la mouture, surtout les blés durs, afin d'en obtenir un son large, plat et bien nettoyé.

Cette opération est aussi très utile pour les blés tendres récoltés pendant les années sèches.

On a fait depuis de longues années ce mouillage dans la vis à blé propre qui alimente les appareils de mouture, au moyen d'un petit réservoir, d'où l'eau est distribuée goutte à goutte par un robinet. Le blé mouillé repose pendant une journée dans un boisseau, et le lendemain il passe sous la meule ou le cylindre.

MM. Rose frères exposent un mouillage automatique, qui se compose d'une petite

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

roue à augets, puisant l'eau dans une bâche et la versant dans la vis. On met en action 4, 6, 8 ou 10 godets, suivant le degré de mouillage cherché.

Sur le même axe, un croisillon porte des godets plus grands pour distribuer le blé dans cette même vis.

On voit que pour les deux matières, blé et eau, le réglage est facile; la quantité d'eau versée est proportionnelle au volume du blé amené dans la vis. Ce mouilleur est donc un régulateur du degré d'humidité fournie au grain.

Le mouilleur de M. Millot est en fer creux et tôle avec caisse en fer galvanisé, dans la vis d'Archimède se trouvent des échappements et des reprises pour l'eau, ce qui permet un mouillage uniforme du grain.

Appareils magnétiques.

En faisant passer le blé propre sur une plaque fortement aimantée, on retire les clous, pointes ou grains de fer qui restent.

Presque tous les constructeurs fabriquent ce petit appareil fort utile et en même temps fort simple.

II. MOUTURE OU RÉDUCTION DU BLÉ.

La mouture du blé est arrivée aujourd'hui à un tel degré de perfection, que son origine, si ancienne, paraît absolument barbare.

L'écrasement du grain s'est fait à l'origine par le moyen le plus brutal, le concassage, dans une pierre creusée, au moyen d'un pilon. La meule tournante a été un progrès; elle était en pierre brute, tournée à la main par une femme. C'était un perfectionnement sur le pilon.

Il y a deux mille ans, la meule fut actionnée par l'eau; plus tard, au moyen âge, par le vent. On travaillait à façon dans ces petites usines qui ne comportaient chacune qu'une paire de meules.

En 1789, régnait la meule française produisant une mouture à la grosse plus ou moins plate. A cette époque, la mouture économique et celle à gruaux sassés passaient pour des exceptions. Les pierres étaient très ouvertes, très lourdes; le blé passait sous la meule à peine purgé de matières étrangères et de graines.

On ne songeait guère au nettoyage. L'extraction de la farine était faite rudement au moyen de sacs secoués par un dur mouvement de va-et-vient, ou dans des bluteaux contre lesquels frappait un bâton.

Au commencement du siècle, puis successivement, se produisirent les perfectionnements; la mouture du blé par les meules a atteint son maximum d'amélioration il y a une vingtaine d'années.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A ce moment même, la réduction du blé en farine au moyen de cylindres apparaissait en Autriche-Hongrie, y prenait une extension rapide à tel point qu'au moment de l'Exposition universelle de 1878, dans le rayon de Buda-Pest, chaque système de travail du blé, par meules ou cylindres, avait un nombre à peu près égal de partisans. L'application dans les usines se répartissait environ par moitié.

Cette sorte de lutte se passait dans un vaste champ ; il ne s'agissait pas d'une simple expérience ou du caprice d'un industriel, car la quantité de quintaux de blé traités annuellement atteignait 3,500,000, d'une valeur de 80 millions de francs.

L'emploi des cylindres en meunerie n'était cependant pas nouveau; depuis de longues années, les constructeurs montaient dans les moulins des cylindres en fonte durcie, lisses, que l'on appelait comprimeurs, et qui préparaient à la mouture par les meules les blés durs et pierreux et aussi les blés tendres dans les années humides, afin d'augmenter leur densité et de les empêcher d'empâter les meules.

Peu à peu cependant, on les avait délaissés et leur emploi s'était restreint surtout en France, tandis qu'à l'étranger, en Hongrie notamment, les cylindres avaient de plus en plus été adoptés seuls ou avec les meules, pour la mouture du blé.

Un Français nommé Bérard, en 1818, fit marcher pendant quelques mois des cylindres en fonte pour remplacer les meules en pierre; il rétablit ensuite ses meules et utilisa les cylindres comme comprimeurs du grain, pour retirer les pierres, avant son entrée sous les meules.

En 1823, un Américain, John Collier, moulait le blé avec des cylindres en métal durci.

M. Benoist, de Saint-Denis, pendant de longues années, fit la mouture des gruaux avec un cylindre de pierre, tournant sur un axe horizontal, portant sur la surface concave d'une portion de cylindre de même nature, égale au quart de la surface convexe du cylindre mobile.

En Allemagne, un système analogue était employé, mais peu pratiqué, il y a vingt-cinq ans.

A l'Exposition de 1878, M. Wegmann, de Zurich, proposait la même idée pour la mouture du blé; ses cylindres étaient en porcelaine.

Depuis dix ans, la lutte entre les partisans des meules et ceux des cylindres a été vive, ardente, en France. En Autriche-Hongrie, en Angleterre, aux États-Unis, les cylindres l'ont emporté plus vite; cela tient à la différence dans l'emploi des farines, dans la recherche de plusieurs qualités pour les différentes classes de la société, surtout en Autriche-Hongrie, tandis qu'en France une sorte d'égalité démocratique s'impose par les usages de l'alimentation du peuple.

Nous relaterons quelques-uns des dires de chaque parti, les arguments présentés pour ou contre chaque système :

« On n'arrive pas au progrès économique par la mouture à cylindres, disent les partisans des meules. Le progrès ne réside pas dans la belle apparence des farines; et en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poussant la boulangerie à faire de plus en plus blanc, sans s'occuper de lui donner d'autres qualités, la meunerie rend à l'intérêt public un très mauvais service.»

On pouvait, à cet argument, répondre que c'est le boulanger qui, voulant faire du pain très blanc, suivant la demande du consommateur, a forcé le meunier, lequel y a son propre intérêt, à fabriquer une farine de plus en plus blanche.

Qu'est-il arrivé lors de la transformation complète de notre ancien système français de mouture à la grosse, dans la première partie du siècle, et que se passe-t-il de nos jours?

Après l'abandon des moulins primitifs, rien ne put être conservé; il fallut tout créer. L'amour du mieux prit subitement tous les meuniers qui ont eux-mêmes mené la réforme. Le principe nouveau, dans son unité, a été proposé et admis sans coup férir.

Les charpentiers de moulins devinrent de grands constructeurs.

Chacun alors revendiquait avec raison l'initiative de sa transformation. A cette époque, le patron connaissait à fond son métier; il l'apprenait à son contremaître qui à son tour instruisait les ouvriers. C'était de la vraie solidarité. C'est ce qui a produit, pour la conduite des meules, des hommes très sérieux pendant la plus belle période industrielle de la meunerie française. Aujourd'hui, il ne reste plus de ces hommes.

Pendant qu'en France, la mouture par meules avait cessé de progresser, à l'étranger tout à coup, et même à Paris sans qu'on l'eût prévu, les produits de la mouture à cylindres faillirent détrôner les farines françaises.

En 1875, paraissaient à Paris les produits du premier moulin à cylindres de la Hongrie; ils ne faisaient de réelle concurrence qu'à nos farines de gruaux de la Picardie. Leur extrême beauté faisait seule parler d'eux. C'étaient des extraits de beaux gruaux extra supérieurs et exclusivement de luxe.

Ces produits représentaient 10 ou 12 p. 100 seulement du poids du blé; aujourd'hui la première fleur de sept qualités de farines toutes de gruaux sassés, dont les quatre premières réunies comportent 46 à 48 p. 100, forme la farine dite de Hongrie.

En 1878, les farines hongroises obtenaient à la vente une majoration considérable sur les bonnes marques françaises.

L'exposition de meunerie de 1885 a mis en vue les procédés nouveaux. Il y eut d'abord un peu d'indécision, mais les expériences de M. Aimé Girard firent cesser les hésitations chez les meuniers, et le mouvement s'accentua vers les cylindres.

Aujourd'hui la mouture basse par les meules est de plus en plus abandonnée, la faveur passe à celle de la réduction multiple.

Voulant faire connaître la révolution qui se produit dans la meunerie depuis quelques années, nous relaterons les objections présentées à l'apparition de la mouture à cylindres par des meuniers et des boulangers partisans de l'ancienne mouture à meules.

Chez la plupart d'entre eux d'ailleurs, les opinions se sont modifiées. Chaque jour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

amène une conversion nouvelle et le grand nombre de transformations d'usines prouve que de plus en plus la mouture à cylindres prend le pas sur celle des meules.

Certains boulangers, critiquant la valeur des farines de cylindres, disaient que : « Si les cylindres donnent bien aux farines une blancheur et une pureté que les meules ne peuvent produire, ils se trouvaient forcés cependant d'acheter de bonnes farines de meules pour améliorer leur pain.

« La farine, ajoutaient-ils, est complètement modifiée en passant entre les cylindres; l'amidon et le gluten par suite de passages réitérés dans les appareils de mouture sont altérés le plus souvent et la panification devient difficile, la pâte levant mal. Le pain perd de la qualité et, rassis, il n'est plus propre à la consommation; le lendemain il s'émiette et a perdu sa saveur.

« Le pain a donc gagné seulement en blancheur, mais sa valeur réelle est moindre. »

Ils en concluaient qu'il faut mélanger de la farine de meules avec celle des cylindres qui, isolée, se travaille moins bien pour la fabrication du pain ordinaire. Le pain de luxe seul, se consommant frais, pouvait, d'après les boulangers, être fait exclusivement avec la farine de cylindres, si bien que, suivant eux, il n'y aurait eu progrès que pour la blancheur et l'on aurait rejeté de l'alimentation humaine les parties les plus nutritives du blé, que la farine de cylindres ne contient pas.

Les meuniers partisans des meules produisaient des arguments à peu près semblables : « La meilleure farine doit être parfaitement purgée de l'enveloppe du blé; elle doit représenter complètement le blé et contenir des matières albuminoïdes, des matières sucrées ou féculentes, des matières grasses, des sels, des phosphates.

« Il faut donc se débarrasser du son; mais de l'intérieur du grain on doit tout conserver parce que le tout est propre à l'alimentation de l'homme, le blé étant un aliment complet.

« On devra donc, après avoir retiré le son, diviser le moins possible les produits de la mouture afin de conserver dans la farine tous les éléments du blé réunis. Le pain obtenu ainsi sera nourrissant, facile à digérer, agréable au goût et à l'œil; il se conservera bien.

« Si l'on sépare les produits de la mouture, on aura un pain très blanc auquel il manquera tantôt l'un, tantôt l'autre des éléments constitutifs du blé. »

Mais tous ces raisonnements n'ont pu tenir devant l'évidence des faits. Les expériences de M. Aimé Girard ont démontré qu'il fallait retirer le germe, malgré sa richesse en matières azotées, parce qu'il contient de la céréaline qui rend le pain bis. Cette céréaline soluble dans l'eau, au cours de la fermentation panaire, agissant à la fois sur le gluten et sur l'amidon, colore le premier et solubilise en partie le second.

Le pain qui contient la farine de germe sera riche en huile, mais cette huile, fluide et parfumée au début, se résinifie et rancit rapidement au contact de l'air. C'est à cette huile de germe qu'est due l'altérabilité des farines.

Quant au mélange des farines des deux systèmes, il s'imposait aux boulangers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour obtenir un prix moyen permettant une panification rémunératrice, la farine de cylindres, dès son apparition, ayant acquis une majoration de valeur assez grande.

Au point de vue économique, d'autres objections ont été produites contre l'emploi des cylindres : « Le montage à cylindres est plus coûteux que celui à meules ; la mouture à réductions multiples exige des connaissances pratiques ; il y a économie de rhabilleurs, cela est vrai; mais augmentation d'intérêts, d'impôts et d'assurances.

« Les frais de fabrication ayant plutôt augmenté, le nouveau système ne pouvant donner un rendement supérieur à ceux des moutures passées, il y a majoration du prix de revient des farines.

« L'usinier est soumis à des exigences locales ; le goût diffère d'un pays à l'autre ; il faut se conformer aux demandes de la clientèle. On ne devrait pas copier aussi servilement les méthodes de fabrication des autres pays ; il faut prendre seulement ce qui est bon, viser à un grand rendement et améliorer la pureté de la farine sans diminuer ses propriétés alimentaires.

« Ne verra-t-on pas en France l'abandon de presque tous les petits moulins, les propriétaires étant dans l'obligation de faire une dépense qui souvent dépasse la valeur actuelle de la propriété?

« Certains meuniers disent que la meunerie française a trop augmenté sa production, surtout après 1850. Il aurait fallu travailler mieux et à moins de frais ; mais on voulait produire en masse, l'Angleterre, qui achetait beaucoup de farines françaises, n'exigeant pas une grande finesse.

« Les farines du rayon de Paris étaient prisées à Londres pour leur blancheur ; elles servaient à relever la nuance des farines anglaises dites « double white flour » pour le pain de luxe, et la « household de première qualité » pour le pain bourgeois.

« La meunerie anglaise ne moulait autrefois le blé qu'en boulange et ne remoulait rien ; par un simple blutage elle extrayait le son et tout le reste des divisions était employé aux diverses panifications.

« Le matériel ainsi réduit était peu coûteux ; les Anglais choisissaient des meules de nature de pierres douces, supportant un rhabillage large et grossier, pour résister à la forte pression de la mouture.

« A Londres, les farines inférieures mélangées servaient à faire le pain de deuxième qualité.

« La meunerie anglaise s'inquiéta des importations françaises qui étaient considérables et améliora son outillage ; toutes les grandes usines du littoral français étaient exportatrices. Leur prospérité est à jamais perdue. »

A toutes ces objections, il n'y a qu'un mot à répondre. Pour bien fabriquer, il faut être bien outillé, et le meunier qui vise à produire la marque supérieure de farine ne doit pas hésiter à faire un sacrifice d'argent pour installer un matériel perfectionné.

S'il est vrai que les moulins anglais donnent aujourd'hui de bons produits, fermant ainsi l'accès aux farines françaises, il ne faut pas oublier que les blés du monde entier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

leur arrivent à moins de frais qu'aux moulins français, ce qui détruit quand même l'exportation des farines de France.

Arrivant à l'entretien de l'outillage, certaines divergences apparaissent; il ne faut pas s'exagérer leur importance.

Par un rhabillage régulièrement exécuté, la meule reste constamment en bon état de travail. Le cylindre, strié, ne peut conserver un bon et constant travail sur tous les blés pendant le long temps du service de sa cannelure.

Une cannelure nouvellement faite travaille mal les blés secs; elle les coupe grossièrement et fournit par déchirement de gros granules qui prolongent la mouture. Si la cannelure est à demi usée, elle produira plus de farine de premier jet, très belle et des gruaux beaux et réguliers.

Pour les blés tendres, si la cannelure est émoussée, le cylindre aplatira trop les grains au premier passage; il faudra donner plus de pression aux passages suivants. Cette pression provoquera une production de chaleur, la farine se collera sur le son qui sera alors difficile à épurer complètement par la brosse.

Donc, quand la cannelure est favorable au travail du blé sec, elle opère mal sur le blé tendre et vice versa. Faite à neuf, la cannelure est bonne pour le blé tendre; un peu usée, elle convient aux blés secs.

Il n'est pas bon de mélanger les blés durs avec les blés tendres; cela donne un mauvais travail entre les cylindres. Par les meules, le travail n'est pas, non plus, satisfaisant dans ce cas.

L'usure des cylindres dépend de la dureté de la fonte, de la conduite de l'appareil, de la pression, de la régularité de charge donnée à la bluterie du passage précédent, de la marche à vide.

Une grosse cannelure comme celle des deux premiers passages peut résister deux ans à deux ans et demi; celle des troisième et quatrième passages, deux ans; celle à la suite, un an ou dix-huit mois.

Il est bon de ne pas faire retailler toute la batterie à la fois; il faut faire le travail successivement, un cylindre chaque année; cela vaut mieux.

On a cherché, au début de cette lutte entre les deux systèmes, un moyen d'accommodement; on a voulu faire vivre côte à côte les deux antagonistes; le système mixte a eu son moment de vogue.

Il y avait une certaine hésitation, bien légitime d'ailleurs, à prendre une mesure radicale, consistant à démonter un matériel ancien, en bon état, valant 30, 40, 50,000 francs, ou plus, pour le remplacer par un autre, neuf, coûtant encore plus cher.

On ne se résout à cette extrémité que quand on possède une certitude absolue du succès; d'ailleurs, les meuniers ne sont pas tous propriétaires des usines qu'ils exploitent; des baux n'étaient pas près d'expirer; des ententes nouvelles entre propriétaires et locataires devaient se faire sur des bases toutes différentes et la recherche d'un système mixte devait s'imposer alors à la plupart des esprits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De là vint l'emploi des meules en pierre combiné avec celui des appareils métalliques de désagrégation et de purification, ce qui faisait une notable économie en conservant une partie de l'ancien matériel.

Il existe deux modes de mouture mixte :

1° Le broyage du blé à la façon hongroise, par des passages multiples et le convertissage des gruaux propres par les meules jusqu'à épuisement de la mouture, les gruaux tachés étant désagrégés par des cylindres en porcelaine ou en métal dur;

2° Plus simplement encore, le blé est concassé et granulé par un seul passage sous les meules; puis on opère la réduction des gruaux au moyen de cylindres lisses et la remouture des sons gras par une meule.

Ce traitement des sons est mauvais; il vaut mieux faire finir ceux-ci par un cylindre désagrégeur pour tirer un bon parti de ce passage.

L'alliance de la meule et du cylindre n'a pu durer dans les installations mixtes, qui permettaient de conserver une bonne partie de l'ancien matériel des usines; la séparation définitive a eu lieu.

S'il est vrai que le cylindre est indispensable au parfait convertissage des granules, la meule aussi, modifiée, pourra-t-elle produire ces granules aussi bien?

La meule granulante, tamisante et finisseuse des sons opérerait la complète granulation du blé pour laquelle, dans la mouture à réduction graduelle, six jeux de cylindres avec leurs bluteries sont nécessaires.

Cela ne peut être; la concentration de toutes les phases du travail dans une même opération, faite dans un seul appareil, ne peut donner un bon résultat.

Avant d'arriver à la mouture par cylindres seuls, nous dirons quelques mots des classeurs de grains.

Ces machines ne doivent pas être considérées comme des nettoyeurs, elles ne sont pas non plus des appareils d'écrasement des grains.

Par la meule en pierre, rationnellement rayonnée, on peut moudre un mélange de variétés disparates de froment; on peut faire des mélanges propres à donner des farines ayant une proportion cherchée de gluten.

Les grains, arrivant au centre de la meule gisante, prennent peu à peu la vitesse de la meule courante et vont du centre à la circonférence, en décrivant des spirales. Les gros grains sont attaqués les premiers au cœur même des meules, les moyens le sont vers l'entrepied, et les petits au milieu de cette zone.

Il n'en est pas de même avec les cylindres en fonte trempée. Le fendage par des cylindres cannelés exige que tous les grains aient exactement la même grosseur; le succès de la mouture est à ce prix; le fendage est alors efficace, régulier, sans perte de farine blanche.

L'enlèvement de la poussière du sillon est ensuite facilement obtenu sans brossage,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les grains fendus passant dans une bluterie à toile métallique. Les grains doivent être fendus et non broyés, ni cassés.

Le classement des grains est donc nécessaire pour le fendage.

Il y a entre l'action des meules et celle des cylindres d'évidentes analogies. La pression sur les grains se fait dans les deux cas par les faces obliques des rampants de sillons ou de cannelures; les arêtes se croisent pour fendre ou triturer.

Les différences sont que les arêtes qui se croisent dans les meules décrivent un même plan et, par suite, cisaillent les grains, tandis que dans les cylindres elles roulent les unes sur les autres.

Comme il a été dit déjà, les sillons, dans les meules, ont une profondeur décroissante du centre à la circonférence, ce qui permet de traiter des grains de grosseurs inégales.

Les cannelures des cylindres ayant partout la même profondeur et la même largeur, les grains donnés aux cylindres fendeurs doivent avoir le même diamètre et, pour cela, il faut les classer si l'on veut obtenir de bons résultats dans le travail.

Depuis une douzaine d'années, depuis l'introduction pratique du cylindre en meunerie, la meule se trouve dans un état d'infériorité manifeste. Il est certain que l'on peut continuer à employer les meules perfectionnées et, par une mouture rationnelle, en obtenir des produits suffisamment bons; mais on arrive alors à une complication semblable à celle de la mouture à cylindres, de telle sorte que les reproches faits à cette dernière tombent d'eux-mêmes.

Il y a, dans la mouture à cylindres, le court système, comme on dit en Amérique, et le long système.

Le premier passage est toujours obligatoire; c'est le fendage, par lequel on enlève le germe et la poussière qui se tient dans le sillon du grain; de même le dernier, qui est le curage des sons.

Mais faut-il, entre les deux, un, deux, trois, quatre broyages intermédiaires?

Par le court système, un broyage intermédiaire suffit; par le long système, trois ou quatre sont nécessaires.

Par le court système, on semble nier l'existence de la poussière du sillon du grain. Cette négation absolue est une erreur, car bien que le blé ait été nettoyé complètement, la double bluterie contient toujours un peu de poussière noire, de 1/4 à 1 p. 100. Cette poussière noire, si on l'y laissait mélangée, ternirait la farine malgré sa très petite proportion et on ne pourrait obtenir une parfaite blancheur.

L'utilité du fendage est donc absolument démontrée.

Au moyen des cylindrages intermédiaires, après avoir fait sortir des coquilles du son les gruaux blancs (et d'abord les plus tendres, qui proviennent du centre du blé), on obtient, à très peu près, toute la partie farineuse du grain. Il reste encore cependant des gruaux soudés à l'intérieur des enveloppes et le dernier cylindrage doit curer les sons.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on n'avait qu'un cylindrage intermédiaire pour vider les moitiés de grain, il faudrait une grande pression des cylindres, ou, à égalité de pression, une grande différence des vitesses, afin d'extraire du son les granules farineux; réparti sur trois ou quatre cylindres, le travail sera plus doux et mieux traité.

Le progrès exige donc que l'on aille doucement pour faire mieux. On ne peut se dispenser de ce nombre multiple d'opérations, car si l'on active trop le travail, il se manifestera des inconvénients au blutage pour la panification et la conservation en magasin.

La réduction en boulange sera donc faite dans des appareils à six passages cannelés; à la suite de chacun de ces passages successifs, les produits circuleront dans des bluteries doubles à cylindres garnis de toiles métalliques.

Il est bon de produire une certaine quantité de farine noire au premier passage; on n'aura plus à craindre que la farine de boulange du deuxième passage ait une légère teinte. On évitera ainsi une complication future, car il deviendra inutile de tirer cette farine en sacs.

Il sera alors possible de s'appliquer, dès le deuxième passage, au travail des semoules en serrant les cylindres, et ce travail se trouvera ensuite bien complété aux troisième et quatrième passages.

Après ces broyages, les sons divisés, épurés, sont recueillis dans des chambres.

Dans le râteau à boulange se sont réunis les produits des bluteries qui suivent les broyeurs; ils s'y reposent, s'y rafraîchissent, ce qui permettra une meilleure division dans le blutage.

Le meunier doit chercher à produire beaucoup et de bonnes semoules; c'est le meilleur résultat de la mouture.

Aux appareils à cylindres lisses, il faut une semoule fine, propre, un peu grasse, très bonne.

Les semoules fines ou grasses sont conduites, chacune de son côté, aux appareils sasseurs qui leur sont propres.

Chaque grand convertisseur est desservi par une bluterie centrifuge, un diviseur et un sasseur.

Il en est de même pour le service à bis.

Dans ces conditions, on peut obtenir à la mouture, en farines de qualité hors pair, supérieures, environ 60 p. 100; en toutes farines, 75 p. 100.

Le son se dégage dans la proportion de 15 à 20 p. 100 en y comprenant les remoulages; le déchet ressort à 2 p. 100 environ.

Sur le poids total du blé, il faut compter alors 5 à 6 p. 100 disparus pour des causes peu connues, de chaleur, de pression, d'évaporation, etc., que les chercheurs et inventeurs retrouveront sans doute dans l'avenir.

Les broyeurs appliqués à la mouture du blé surgirent dans l'industrie, il y a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

environ une vingtaine d'années. Le premier fut l'appareil de Carr à axe horizontal; d'autres vinrent ensuite, basés sur le même principe, tout en ayant l'axe vertical.

Un broyeur comporte, comme parties essentielles, deux plateaux métalliques, munis de broches en acier; ces plateaux tournent à une grande vitesse, en sens contraire.

On a, par l'emploi de ces appareils, obtenu d'abord une mouture intermédiaire entre la mouture basse et la mouture ronde ou à gruaux.

Le blé est soumis à des chocs précipités, en passant entre les broches d'acier qui le frappent dans les deux sens; il doit alors être fortement mouillé si l'on veut éviter la brisure du son.

Il est utile de faire passer le blé entre des cylindres comprimeurs en fonte lisse, avant de le distribuer au broyeur; par cet aplatissement, il se dégagera un peu de farine noire que l'on retirera de suite afin de ne pas ternir la bonne farine que l'on recherche.

On utilise aussi le broyeur pour le repassage des gruaux.

Ces appareils n'opèrent pas avec assez de douceur; leur action est trop brutale. Ils peuvent recevoir une application utile dans les petits moulins; on en fait sur des modèles réduits et qui prennent peu de force.

Dans l'antiquité, des tamis en jonc, en crin, en peaux percées de trous, constituaient tout l'appareil du blutage.

Il y a cent ans, on employait les bluteaux lâches et les bluteaux frappants, sortes de sacs où la boulange passait, animée de mouvements saccadés; le son, par les secousses et les chocs, devenait très fin et une partie traversait l'enveloppe avec la farine.

Les bluteries circulaires, concentriques, à la fin du dernier siècle, comportaient une grande surface, ce qui était un grand inconvénient.

En donnant une forme prismatique au tambour, on augmente la surface sans changer le volume de l'appareil. Cette bluterie doit tourner lentement; la boulange roule avec une faible vitesse sur un plan incliné, elle s'élève par adhérence et retombe brusquement. Le défaut principal est qu'il y a une perte énorme de surface travaillante; la soie n'est utilisée que sur 20 à 25 p. 100 de sa superficie.

De plus, la boulange retombe périodiquement par masses et brusquement; ceci tend à broyer et à briser les fragments de son mêlés à la farine, et le blutage se trouve un peu forcé.

Le son, brisé par cette chute et par le poids de la boulange, devient trop fin et il en reste avec la farine sans que l'on puisse l'en séparer.

On tend à abandonner la bluterie prismatique en Amérique; la bluterie cylindrique, qui a un travail plus doux, lui est maintenant préférée.

Dans la bluterie cylindrique, l'ascension et la chute de la boulange sont continuelles, mais les mouvements ne sont pas saccadés. Cette disposition est très bonne, mais elle nécessite une surface de soie plus considérable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les bluteries à brosses sont brutales, elles produisent des sons fins qui restent mélangés à la farine. La brosse pousse la boulange contre la toile tamisante; l'action est forcée. Cet appareil tend à disparaître.

Les bluteries centrifuges ont un batteur à l'intérieur; ce batteur à ailettes projette la boulange sur toute la surface tamisante. Il y a évidemment beaucoup moins de perte de surface travaillante, ce qui permet de réduire les dimensions des bluteries. On a gagné un travail rapide, mais le blutage est encore forcé.

Les bluteries centrifuges ont été très perfectionnées pour rendre le travail aussi doux que possible. On a rendu les ailettes légères, le mouvement a été précipité, on a fait tourner l'enveloppe tamisante; les palettes ont été inclinées pour ne pas projeter la boulange normalement à la toile; par une vitesse mise en rapport avec celle de la bluterie, la projection de la boulange est faite tangentiellement à celle-ci.

On peut, en un mot, disposer les choses de telle sorte que la boulange projetée atteigne le tissu presque sans vitesse.

La bluterie centrifuge, suivant quelques-uns, exige un entretien et une force motrice qui ne sont pas en rapport avec les services rendus; cependant, si elle est perfectionnée, elle peut être employée sans crainte, surtout pour des boulanges légères. Ici encore, il faut opérer avec une douceur extrême.

Ainsi, en suivant la voie ininterrompue du progrès, les bluteries prismatiques, cylindriques et centrifuges, se sont remplacées successivement. En Amérique, on améliore encore en faisant une bluterie plus courte; on évite de remuer la boulange, de la projeter brutalement contre le tissu. Des palettes solidaires les unes des autres écrèment la masse de boulange qui reste au fond pendant la rotation, et la remontent partiellement afin d'accroître la portion active de la surface blutante.

On peut encore, à l'aide de palettes longitudinales, saisir au fond, en passant, une petite quantité de boulange et la remonter jusqu'à l'axe.

Il est évident que l'on peut remonter la boulange de beaucoup de manières; l'important est d'agir toujours avec douceur.

Le sassage a fait d'énormes progrès depuis quelques années; les perfectionnements qui ont été apportés aux appareils sasseurs en ont fait des outils précis, condensés en un petit volume et remplissant leur rôle d'une façon pour ainsi dire intelligente.

Les détails de fabrication, le goût des constructeurs nous les montrent sous une forme finie, élégante.

Nous en reparlerons un peu plus tard, au moment de l'étude des appareils exposés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONCLUSION.

Il y a eu une sorte d'élan en avant à partir de l'apparition des cylindres; il s'est manifesté d'importants progrès dans les appareils de nettoyage, de blutage et de sassage. On a obtenu dans ces parties du travail de la minoterie des résultats presque inespérés.

L'Exposition universelle de 1878 avait prouvé, en même temps que les importations en France des farines de Hongrie s'accentuaient, l'infériorité du matériel de la meunerie française.

Mais l'exposition de meunerie, à Paris, en 1885, montra qu'en France on voulait lutter, et aujourd'hui la meunerie française n'a plus rien à envier à la meunerie hongroise.

Le combat a donc cessé; la meule est vaincue par le cylindre, mais aussi la simplicité du montage, l'économie dans l'installation ont disparu.

L'outillage doit être compliqué afin de travailler avec douceur et lenteur dans les trois opérations du nettoyage, du broyage et du blutage. Tant pis s'il faut plus de temps, il s'agit ici d'arriver à la perfection des produits, et un bon meunier ne doit pas s'écarter des principes suivants :

Nettoyer le grain sans l'égratigner ni l'user;

Écraser le grain sans fragmenter l'enveloppe;

Séparer la farine sans froisser la boulange.

L'arsenal minotier est déjà fort encombré; il a été fait des tentatives de toutes sortes; les inventeurs ont cherché, perfectionné, mais toutes les machines se réduisent en somme à quelques types principaux que nos constructeurs ont adoptés avec une sorte d'ensemble.

L'Exposition universelle de 1889 nous montre, dans la classe 50, nombre d'appareils dont la plupart sont d'une exécution remarquable.

Peut-être, dans quelques années, trouvera-t-on à substituer aux cylindres des appareils plus simples? Cela est bien possible, mais on peut dire aujourd'hui que l'art de la meunerie est arrivé à un rare degré de perfection et que la science de moudre s'est élevée à la hauteur des sciences appliquées les plus avancées de l'industrie.

APPAREILS DE RÉDUCTION OU BROYAGE DU BLÉ.

Nous étudierons les uns après les autres les appareils de réduction du blé exposés, en les divisant en trois groupes principaux :

1° Cylindres métalliques ou en porcelaine;

2° Meules en pierre:

3° Broyeurs métalliques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° *Cylindres métalliques ou en porcelaine.*

Les opérations de la minoterie par les cylindres sont assez compliquées. Par les passages successifs entre les cylindres cannelés et les bluteries à toiles métalliques, on arrive dès le début à produire une quantité aussi faible que possible de farines, à faire de gros gruaux et à attaquer le son doucement afin de l'obtenir large et plat.

Ces gruaux, divisés par grosseurs, passent ensuite dans des cylindres lisses ou convertisseurs; il y a alors production de farine et de gruaux plus fins qu'il faut traiter dans des bluteries garnies de soies.

Le meunier arrive ainsi par un nombre suffisant de passages et de blutages à obtenir comme résidus des sons dépouillés de farine. La petite quantité qui reste adhérente à ceux-ci peut être négligée.

Par cette multiplicité d'opérations, en Autriche, en Russie, les minoteries produisent des farines de toutes qualités; elles donnent un grand nombre de marques différentes depuis la farine-fleur jusqu'à la farine bise, la première n'entrant d'ailleurs dans le rendement total que pour une faible proportion.

Ces farines sont utilisées pour fabriquer les pains qui conviennent aux diverses classes de la société, suivant les usages, les habitudes de ces peuples.

Nous dirons quelques mots des moulins de la Hongrie qui ont poussé si avant l'art de moudre. En Hongrie on traite dans les moulins à vapeur vingt et un millions de quintaux métriques de blé par an, soit près de 58,000 quintaux par jour.

La plupart des moulins de Buda-Pest disposent d'une force motrice de 300 à 650 chevaux-vapeur; ils travaillent jour et nuit; des machines de réserve, d'une puissance égale, permettent d'éviter tout chômage.

La réputation des farines hongroises vient de la qualité du blé et de l'extraction graduelle de nombreux numéros des produits. Les moulins hongrois fabriquent vingt-quatre qualités de farines, sans compter les issues et les sons.

En France, en Belgique, en Angleterre, on pourrait faire de même avec des blés roux. Mais à quoi bon! sur ces 24 sortes de farines, quel serait l'emploi de 60 p. 100 de basses farines? On n'en trouverait pas le débit pour la consommation.

Au mois de mai 1890, l'association des meuniers hongrois a décidé de réduire à neuf le nombre des différentes qualités de farines qui sont actuellement désignées sous les chiffres de 0 à 8. Ils ont ainsi reconnu l'inutilité de la classification ancienne comportant un trop grand nombre de numéros.

La Hongrie exporte dans presque tous les pays ses farines-fleurs, grâce au débouché que trouvent facilement les basses farines dans le pays même.

Le gruau français, venant du Nord de la France, est d'un aspect exactement semblable à celui de la farine ronde de Hongrie. Les boulangers dits viennois le dédaignent cependant, prétendant que le pain qu'il fournit au sortir du four devient lourd,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a la croûte terne, la mie blafarde, au lieu d'avoir, comme celui que fournit la farine ronde de Hongrie, la croûte jaune d'or et la mie d'une blancheur éclatante.

L'importation en France des farines hongroises dépasse annuellement 200,000 quintaux métriques, dont les trois quarts sont employés par la boulangerie parisienne.

Aux États-Unis, en Angleterre, en Belgique, en Espagne, il a fallu réunir ces numéros de farines, les fusionner en partie pour n'en produire qu'un petit nombre, afin de respecter les traditions.

En Italie et surtout en France, la concentration a encore été plus forte. C'est qu'ici tous ou presque tous veulent du pain blanc.

De cette manière de faire, cependant, ne résulte pas une plus grande simplicité de la mouture, car les produits différents de grosseur doivent être travaillés séparément; ils sont ensuite réunis en un très petit nombre de sortes.

Ces nombreuses divisions en farines diverses ont, en France notamment, été une des principales causes qui, pendant quelques années, ont fait hésiter les meuniers à adopter la mouture à réductions multiples. On craignait de ne pouvoir arriver à de bons résultats, les conditions n'étant pas les mêmes qu'en Hongrie pour les produits à obtenir, la nature des blés étant différente, la tendance populaire visant unanimement à la plus grande blancheur.

Toute crainte a disparu aujourd'hui; le progrès s'impose, rien ne l'arrête. Il va même si vite que le rapporteur craint qu'avant une dizaine d'années, au moment d'une nouvelle Exposition universelle, son œuvre ne paraisse vieillie et critiquable, des appareils perfectionnés étant venus remplacer ceux qu'il se propose de décrire.

Moulins à cylindres métalliques. — MM. Brault, Teisset et Gillet ont exposé une série d'appareils de broyage divers. Leur établissement, comportant les ateliers de Chartres qui, depuis 1837, ont construit et perfectionné les moulins à meules, et ceux de Passy, concessionnaires depuis 1879 des brevets Ganz de Buda-Pest pour les moulins à cylindres, doit être classé au premier rang.

Leurs appareils de broyage comportent deux et quatre cylindres; les convertisseurs, trois cylindres.

Les bâtis en fonte sont solidement établis; les cylindres en fonte dure sont cannelés en hélice; la longueur pour les broyeurs varie entre 34 et 76 centimètres, le diamètre est de 225 millimètres.

Chaque paire de cylindres est placée dans un plan horizontal; les vitesses différentielles sont calculées d'après le travail à produire. Si le cylindre rapide fait 350 à 375 révolutions par minute, le cylindre lent en fera 110 environ. Ceci pour le premier broyage.

Les tourillons tournent dans des paliers venus de fonte avec le bâti pour le cylindre à marche rapide qui porte la poulie de commande. Le mouvement est transmis, au moyen d'engrenages à chevrons, au cylindre à marche lente qui est monté sur des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

paliers mobiles et maintenu en pression constante contre l'autre cylindre par de forts contrepoids réglés suivant la nature des produits.

Cette pression élastique permet aux cylindres de s'écarter si un corps dur vient à se présenter entre eux et d'éviter ainsi leur détérioration ou la rupture des organes de l'appareil.

Toutes les parties sont accessibles et la construction d'une grande simplicité; la visite est facile, le réglage à la portée d'hommes même peu expérimentés; les cylindres enfin peuvent être changés rapidement. Le débrayage se fait brusquement à volonté.

Une sonnerie à timbre avertit en cas de marche à vide.

Pour obtenir une bonne mouture, il faut maintenir le matériel, pendant toute la durée de l'opération, à une température à la fois fraîche et sèche. S'il y avait échauffement, en effet, cela nuirait au dressage et il se produirait une humidité qui dénaturerait la farine.

En déterminant un vif courant d'air au-dessous des cylindres, on évite cet échauffement; par ce courant, l'air chaud seul est entraîné avec quelques impuretés sans qu'aucune parcelle des bons produits se trouve enlevée.

Pour le premier broyage il est bon que les grains se présentent avec des diamètres égaux, qu'ils soient classés en un mot, ainsi que permettent de le faire les opérations du nettoyage. C'est alors que le fendage du grain a lieu et que la poussière sale qui existe dans le sillon du grain disparaît.

Le premier broyage enlève de 1/2 à 1 p. 100 de farine noire qui ne doit pas être mêlée à la vraie farine, car elle ne peut être considérée que comme une espèce de remoulage.

Ce premier broyage doit être d'autant plus serré que le blé est de moindre qualité; il en résulte une plus forte proportion de farine noire; les sillons, en effet, sont plus chargés d'impuretés, dans ce cas. C'est à ce propos qu'il convient de signaler la découverte récente d'un procédé de traitement du blé au premier passage qui semble appelé à amener une certaine perturbation dans les idées relatives à la production de la farine noire.

MM. Brault, Teisset et Gillet ont acquis pendant l'Exposition, de MM. Frank Béal et Compagnie, des États-Unis, un procédé nouveau de cannelures que voici :

L'écartement des cannelures est de 7 à 8 millimètres, la profondeur de l'arête de 3 millimètres et la ligne qui réunit le fond de l'arête à la pointe de l'arête voisine est creusée de façon à former 7 à 8 petites dents.

Que se passe-t-il dans ce cas? On constate l'absence de farine noire après le premier broyage. Cette farine n'existe-t-elle donc pas réellement quand la fente du blé a été parfaitement nettoyée? s'il en est ainsi, c'est donc entre les cylindres eux-mêmes qu'elle prend naissance lorsque ceux-ci dans leur marche grattent en quelque sorte le blé?

Dans la cannelure Frank Béal le grain est roulé, par suite le son se détache nette-

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment de l'anneau du blé; on obtient plus de blancheur, et cela d'une façon notable. Il se produit plus de semoules, et l'on a des sons plus beaux, plus larges.

En outre, il sort de la batterie 5 à 6 p. 100 de farine de broyage en moins qu'avec les cylindres à cannelures ordinaires, et seulement 15 à 16 p. 100 en toutes farines de broyage au lieu de 20 et 21 p. 100; c'est là un avantage très sérieux.

Retrouvera-t-on 1 p. 100 de farine en plus? Ce serait un profit énorme pour le meunier.

Au deuxième broyage, commence la mouture proprement dite; celle-ci doit produire la plus grande proportion de gruaux, surtout de gros gruaux. Il est bien de donner aux cannelures un écartement d'arêtes d'environ 0^{m} 0025; le cylindre rapide fait 300 tours par minute et le cylindre lent 120 seulement.

Le troisième broyage doit être soigneusement réglé, car le succès des broyages suivants en dépend. Si les cylindres sont trop serrés, le son n'est pas assez large; si, au contraire, ils sont trop écartés, il passe des fragments d'amande qui iront au quatrième passage; celui-ci, à son tour, agit de même et ainsi de suite, de sorte que le sixième et dernier broyage reçoit des sons trop riches en farine.

La plus forte proportion de gruaux divers se faisant dans les troisième et deuxième passages, le réglage à ce moment a une grande importance.

La largeur des cannelures est de 2 millimètres; le grain est alors accroché par l'arête, s'il n'est pas cassant. On donne les vitesses respectives de 325 et 130 tours par minute aux cylindres rapide et lent.

Pour plus de régularité, l'alimentation est automatique.

Le quatrième broyage a moins d'importance au point de vue de son effet sur la qualité de la farine que les précédents; il doit cependant être réglé avec soin, car le succès du cinquième passage en dépend. Il doit en effet laisser le son large et non brisé.

On donne un écartement entre les arêtes des cannelures de 0^{m} 0015; le rapport des vitesses des deux cylindres est de 2 à 1, le cylindre vif faisant 325 tours, le lent 162 et demi.

Par le cinquième broyage commence le curage du son; il doit donc être conduit légèrement. Les cylindres travaillent doucement les produits qu'ils reçoivent et le son vient en grandes écailles, prêt à être bien curé au sixième et dernier passage.

L'écartement des arêtes des cannelures est alors de 0^{m} 00125 et les vitesses des cylindres de 325 et 162 tours et demi.

Le sixième broyage doit être surveillé attentivement; on y traite les produits avec douceur afin d'obtenir des sons larges. Si un broyage intermédiaire laissait à désirer, il se produirait une proportion plus forte de petits sons, et ceux-là sont beaucoup plus difficiles à curer que les gros.

Il est donné alors un écartement de 1 millimètre aux arêtes des cannelures; la vitesse du cylindre vif est de 325 tours, celle du cylindre lent moitié moindre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la suite de chaque broyage, les produits ont passé dans des bluteries à extraire, garnies de toiles métalliques de numéros divers; les bluteries cylindriques, ayant une action plus douce sur la boulange, donnent une farine plus parfaite.

Cependant, après le premier broyage ou fendage, une bluterie hexagonale produit un bon effet. A ce moment, qui est presque la terminaison du nettoyage, il est nécessaire que la bluterie agisse un peu plus rudement par frottements et par chocs, afin d'enlever aux moitiés de grains la poussière du sillon qui peut encore y adhérer.

Au moyen de ces six passages le blé est broyé, réduit, et la farine doit être dégagée avec le moindre déchet possible, absolument pure de couleur et de composition; les issues doivent sortir dans l'état le plus propre à la vente. La farine étant toute faite dans l'amande du grain, il ne peut être question de l'améliorer; il faut éviter seulement que les appareils de réduction ne viennent la détériorer.

L'amidon contenu dans l'amande du grain de blé n'est pas altéré par les opérations mécaniques qui viennent d'être décrites, mais le gluten peut l'être si dans le travail il se dégage une grande somme de chaleur, s'il y a frottement énergique, une très grande pression, des chocs violents enfin.

Voilà pourquoi il faut tant de précautions et de douceur pour traiter les produits.

Si l'on tient à obtenir des sons larges et non frisés, c'est que du son ou plutôt de l'enveloppe du grain qui n'est pas nutritive pour l'homme, il faut dégager les fragments d'amande adhérents. Cette opération deviendrait difficile si le son était trop divisé.

En ménageant ainsi les enveloppes, on obtient des sons larges; le petit son est peu abondant, et le mélange de la céréaline, qui rend le pain bis, avec la farine se trouve évité.

Le germe qui, au bas du sillon, adhère à la membrane interne de l'amande, réduit en farine, mêle à la masse une matière grasse qui a l'inconvénient de rancir facilement et de rendre difficile la conservation de la farine. Les expériences de M. Aimé Girard ont démontré cette vérité qui n'est plus contestable aujourd'hui.

Il faut donc dans les appareils d'écrasement laisser le germe entier, afin de pouvoir l'éliminer dans la suite des opérations; on devra donc, pour avoir une farine absolument pure et un son convenable, éviter, par les appareils, les frottements, les fortes pressions et les chocs exagérés.

Au premier passage, dans l'action entre les cylindres à cannelures ouvertes, le grain est pressé, étiré, sans chocs; il est alors ouvert et simplement fendu.

Les cannelures au deuxième passage sont moins larges et moins profondes, et les moitiés de grains sont pressées et raclées de façon à faire sortir les gruaux et les semoules. Il n'y a pas non plus de chocs. La différence des vitesses des cylindres opère un étirage qui aide à la désagrégation des semoules, et cure le son; elle permet de régler la pression, de la rendre douce pour le travail.

Si, pour le grain entier au premier passage, les cannelures sont écartées, pour les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

produits suivants, elles sont de moins en moins profondes et les arêtes plus rapprochées; on arriverait à les rendre lisses si l'opération était menée plus loin.

Les convertisseurs de MM. Brault, Teisset et Gillet, à trois cylindres, sans cercles d'allégement, avec larges paliers graisseurs à mèches métalliques, sont d'une construction soignée. L'écrasement des gruaux, des semoules, a lieu par des cylindres lisses; la pression est réduite, il n'y a pas de chocs. Si les gruaux sont bien classés, une différence de vitesse aux cylindres suffit à produire un léger frottement qui les désagrège.

Les ressorts de l'appareil sont puissants et le réglage facile. Le cylindre du milieu est fixe, son diamètre est plus grand que celui des deux autres; la transmission de mouvement a lieu par engrenages à chevrons en fonte trempée. Les arbres des cylindres ont un fort diamètre afin d'éviter tout échauffement malgré la pression.

Ces appareils sont munis d'une double distribution; on peut ainsi se servir des deux passages indépendamment l'un de l'autre.

Le détacheur des mêmes constructeurs comporte deux plateaux à broche, dont l'un est fixe et l'autre mobile; la marchandise entre au centre et sort à la circonférence.

Le broyeur à trois paires de cylindres superposées de MM. Brault, Teisset et Gillet, avec tamis pour la réduction graduelle du blé, est destiné à la petite meunerie.

Chaque paire de cylindres a son mécanisme de réglage. Au-dessous de chaque passage se trouve un tamis à extraire; il reçoit le blé concassé des cylindres qui sont immédiatement au-dessus, le blute et conduit les produits à rebroyer à la paire de cylindres immédiatement au-dessous. Les produits blutés sont reçus dans un conduit vertical, extérieur à l'appareil.

Chaque tamis a son mouvement spécial de commande actionné par les cylindres.

Deux broyeurs de ce genre permettent d'installer un broyage et un blutage complets en six passages. Il y a dans ce cas économie d'argent et d'emplacement. La force nécessaire au fonctionnement est, d'autre part, un peu moindre à cause de la diminution des vis, élévateurs, et transmissions. On obtient en outre une automaticité complète du broyage.

Cet appareil paraît bien conçu, mais il n'a pas été soumis à l'expérience pratique.

Si l'on considère, d'un point de vue général, la question des petits moulins, on reconnaît bientôt que ceux-ci doivent, sous peine de périr, subir comme les grands moulins une transformation complète.

La mouture à façon a disparu ou va disparaître presque entièrement; les produits qu'elle fournit ne sont pas assez beaux pour satisfaire la clientèle de ces moulins. Cette clientèle, devenue plus exigeante, préfère le pain du boulanger; le boulanger, de son côté, achète la farine faite et renonce à faire moudre le blé provenant du marché; il ne fait plus travailler le meunier à façon.

Les journaliers campagnards ne sont plus payés en nature, mais en argent, et ils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

préfèrent le pain du boulanger qui est blanc ; celui qu'ils feraient à la maison avec la farine venant des petits moulins à façon n'aurait pas la même blancheur.

Il faut donc que les constructeurs facilitent la transformation des petits moulins, et cela dans leur propre intérêt. Le matériel doit être étudié en vue de la simplicité et du bon marché de l'installation ; les machines doivent être groupées et concentrées de façon à rendre la mise en place facile et économique.

Mais il faut éviter absolument de chercher une économie dans la série des opérations ; rien ne peut être retranché, le travail en souffrirait. Les petits meuniers ont déjà une tendance trop grande à acheter du blé de qualité secondaire à bon marché ; si, en outre, avec ce blé médiocre, la réduction n'est pas complète, ils ne peuvent obtenir qu'une farine inférieure dont la vente ne saurait être rémunératrice.

Des essais de mouture mixte faits en ajoutant aux meules un ou deux appareils à cylindres pour le fendage du blé et le convertissage des gruaux n'ont donné que des résultats insignifiants.

MM. Robinson et fils ont installé à l'Esplanade des Invalides, dans un élégant chalet, un moulin pouvant traiter 75 quintaux de blé par 24 heures.

L'ensemble de cette exposition est très intéressant ; certains appareils presque inconnus en France méritent d'attirer l'attention.

Nous en avons déjà signalé quelques-uns au chapitre Nettoyage ; nous nous occuperons maintenant des appareils de broyage.

Par un calibreur à tamis rotatif, le blé est classé en deux catégories, d'après sa grosseur. Suivant le mouvement des cribles, le blé glisse insensiblement dans le sens de la longueur du grain jusque dans le fendeur dont la trémie double reçoit d'un côté le gros et de l'autre côté le petit grain.

L'appareil fendeur comporte trois cylindres placés horizontalement. Celui du milieu est fixe, il est cannelé par sections suivant divers tracés ; les deux autres cylindres, mobiles, sont cannelés d'une façon uniforme.

Au moyen d'un levier, on peut tourner le cylindre du milieu, de façon à lui faire présenter aux autres le genre de cannelures convenable pour blés durs ou tendres. Par ce moyen, le blé est bien fendu quelle que soit la forme du grain et aussi sa dureté ; les deux lobes sont ouverts sans brisure et sans production de farine autre que la farine noire.

L'action de l'appareil est très douce ; le blé est fendu dans le sens longitudinal ; les saletés ou poussières contenues dans la fente du blé sont enlevées, ainsi que la farine germeuse, sans que le son soit endommagé et aussi sans qu'il se produise de la farine de broyage.

Le calibrage des blés avant le broyage est certainement utile ; sans cela, les gros grains seraient trop touchés, le plus souvent en travers, et les grains moyens ne le seraient pas du tout. La bluterie du fendeur fournirait alors de la bonne farine, tandis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que la mauvaise, éliminée seulement au deuxième passage, viendrait altérer les meilleurs produits.

Or, c'est celle-ci seulement que la bluterie du premier passage doit extraire, et le bon calibrage du blé aide, à coup sûr, cette spécialisation.

Les moulins à quatre cylindres de MM. Robinson et fils pour les passages suivants sont construits sur un modèle unique qui peut recevoir des cylindres, ou bien cannelés, ou bien lisses pour les broyages successifs et pour le convertissage des gruaux.

Un distributeur à tamis oscillant alimente uniformément les cylindres ; le blé ou la boulange venant d'une trémie tombe sur le tamis horizontal qui reçoit son mouvement d'oscillation d'un excentrique.

La matière se déverse d'une façon continue et en nappe bien régulière sur toute la longueur des cylindres ; le distributeur règle automatiquement le débit, quelque irrégulière que soit l'arrivée des produits dans la trémie.

Les broyeurs sont actionnés par engrenages, à cause des grandes différences de vitesses, et les convertisseurs, par courroies; les tourillons des cylindres tournent dans des coussinets longs, en bronze, à graissage automatique.

Les diamètres et les longueurs des cylindres broyeurs en fonte durcie varient entre $0^m 150 \times 0^m 300$ et $0^m 230 \times 0^m 760$.

Les vitesses des cylindres à marche rapide et à marche lente sont de 400 pour 160 tours à la minute et 300 pour 120.

Pour les convertisseurs, les cylindres lisses ont les mêmes dimensions que les cylindres cannelés des broyeurs, et leurs vitesses respectives sont de 350 pour 280 révolutions et 300 pour 240.

Lorsqu'on veut assurer la qualité de la mouture, il faut par l'aspiration maintenir une fraîcheur sèche entre les cylindres que traverse la boulange.

L'appareil qu'emploient MM. Robinson, dans ce but, comporte un tube qui communique avec un ventilateur aspirateur et vient déboucher sous la paire de cylindres dans une chambre. Cette chambre, dont le fond est à glissière, est surmontée d'un capuchon ajustable pour régler le passage de l'air.

L'air chaud est ainsi attiré dans la chambre à travers l'orifice laissé libre par le capuchon; dans la boîte, il se dilate et les matières en suspension retombent sur le fond; les impuretés sans valeur sont seules entraînées plus loin.

Au lieu de bluteries à extraire garnies de toiles métalliques, MM. Robinson et fils opèrent la division de la boulange de broyage sur des cribles horizontaux à mouvement rotatif.

Ils pensent que dans les bluteries à extraire, les particules de son, la farine grise et les impuretés qui sont adhérentes au blé concassé, se détachent du fait des secousses reçues, et qu'alors les bons et les mauvais produits passant au travers des mailles se mélangent intimement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Par suite du frottement trop énergique de la toile métallique contre les semoules, beaucoup se réduisent en farines; elles perdent la forme ronde qu'elles avaient en sortant des broyeurs et par ce fait deviennent plus difficiles à sasser.

A l'exception du premier et du sixième passage, les produits des quatre autres broyages sont secoués et ballottés tous ensemble, bons ou mauvais, et c'est seulement après ces opérations si nuisibles à la blancheur de la farine qu'ils sont enfin soumis à des bluteries diviseurs.

Il semble donc plus rationnel d'isoler d'abord et de séparer ensuite à chaque passage le bon du mauvais et de classer en même temps chaque produit.

L'application de ces principes est juste et les constructeurs y trouvent en même temps l'avantage de traiter les produits avec douceur.

Pour obtenir en effet des farines blanches, nous le répétons encore, il est nécessaire, du commencement à la fin de la fabrication, d'éliminer insensiblement, de séparer et d'isoler les mauvais produits. On doit donc faire le moins de farines possible tant que les semoules ne sont pas parfaitement sassées, désagrégées et ressassées à nouveau.

C'est alors seulement qu'il est bon d'exercer de la pression avec les cylindres convertisseurs et de garnir les bluteries de soies fines; les farines gagnent de suite en qualité et quoiqu'un peu rondes, elles paraissent très blanches parce qu'elles ont plus de reflet. Leur gluten n'est pas altéré; elles sont enfin d'une panification plus facile.

C'est dans le but de réaliser ces conditions, que MM. Robinson et fils ont voulu remplacer les bluteries métalliques à extraire par des cribles séparateurs à mouvement rotatif.

La boulange de broyage est d'abord soumise, à la suite de chaque passage, à l'action de deux tamis superposés, animés d'un mouvement très doux, sans secousses brusques.

Le tamis supérieur isole immédiatement les farines et semoules provenant du broyage, tandis que le blé concassé continue sa marche vers le broyeur du passage suivant. Les farines et semoules sont reprises en même temps par le second tamis de dessous qui classe séparément les produits.

Le même classement se renouvelle à chaque passage. Le mouvement de rotation des cribles par excentrique, qui représente celui d'un sasseur, détermine un classement par densité, c'est-à-dire que toutes les parties du germe et les petits sons brisés, d'un poids spécifique moindre que le reste de la boulange, demeurent toujours à la surface des cribles et sont entraînés insensiblement à la queue du tamis.

D'où il résulte que les produits extraits du broyage à l'aide de ces cribles seront propres et bien classés.

L'exposition de MM. Robinson et fils a été tout à fait remarquable.

MM. Rose frères ont présenté une exposition considérable de tous leurs appareils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de meunerie. Ils ont installé un moulin complet sur quatre planchers et produit la mouture du blé par deux systèmes différents :

1° Par cylindres métalliques;

2° Par granulateurs et cylindres métalliques.

Le fendeur-dégermeur de MM. Rose frères comprend des segments en fonte d'acier dont la durée est longue. Il y a simplicité de construction, la machine ne comportant que deux coussinets et une seule poulie.

Les segments une fois réglés ne peuvent jamais se rapprocher; il s'ensuit que si l'alimentation vient à cesser, aucun accident n'est à redouter pendant cette marche à vide.

Le réglage est facile; il est à la portée de tout ouvrier meunier.

Le fendeur-dégermeur fend le blé dans le sens longitudinal du grain; il permet donc d'en extraire le germe ainsi que la farine noire. Cet appareil frictionne énergiquement le grain, ce qui termine et complète le nettoyage.

Les appareils à cylindres comportent un bâti en fonte d'une seule pièce, qui donne une grande stabilité. Le parallélisme des cylindres s'obtient à volonté, dans le sens vertical et le sens horizontal.

Le rapprochement et l'éloignement des cylindres, ainsi que l'arrêt de la distribution se font par un mécanisme unique. Les machines peuvent être commandées par poulies, ce qui leur donne une marche douce et silencieuse, ou par engrenages. Les arbres en acier sont supportés par des coussinets graisseurs.

Les produits obtenus sont convenables, les sons larges, les gruaux blancs et faciles à sasser.

MM. Rose frères font aussi la mouture du blé par granulateurs et cylindres. L'installation des appareils est simple et peu coûteuse; elle peut s'appliquer aux petites usines qui disposent de peu de force, et présente une certaine économie par la suppression de vis, élévateurs, bluteries, etc.; elle permet d'utiliser le blutage existant.

La conduite et le réglage des appareils sont faciles.

Le granulateur, de construction identique au fendeur-dégermeur, reçoit le blé fendu et déjà débarrassé par une bluterie spéciale de la farine noire et des germes; il le travaille en un seul passage.

Par une bluterie à extraire, on classe la boulange ainsi obtenue en farine de premier jet que l'on recueille, puis en gruaux que reprend un sasseur et en sons qui vont dans un désagrégeur où se termine la mouture, donnant comme produits la farine de sons, les recoupettes et les sons gros et moyens.

Le broyage du blé a donc lieu en deux passages seulement; cette opération est simple, mais aussi un peu rapide.

Les gruaux sont traités comme dans le broyage par cylindres.

L'établissement de MM. Rose frères date de vingt-neuf ans; modeste à ses débuts, il tient aujourd'hui une place très honorable dans la construction des appareils de moulins, en France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'exposition de MM. Millot, de Zurich, comprenait les machines, l'outillage et tous les accessoires utilisés par la meunerie.

On y remarquait, d'abord, un fendeur-dégermeur de grains composé de deux couronnes en fonte durcie ou en acier trempé, fixées sur deux plateaux dont l'un, celui du dessous, est mobile. Les disques, qui portent des parties travaillantes sur chaque face, peuvent être retournés après usure d'un côté.

Le plateau inférieur est calé sur un arbre vertical actionné par une paire d'engrenages d'angle et une poulie montée sur un arbre de couche met l'appareil en mouvement.

Le bâti, en fonte, d'une seule pièce assure la stabilité.

Le blé est distribué sur le plateau rotatif, passe sous un cercle et se répand dans une vingtaine de divisions sur des portants cannelés comme des cylindres. Les produits tombent dans des vides et sortent de l'appareil sans être repris, sans former de spirales comme entre les meules et sans subir de compression comme par les cylindres.

Le grain est partagé dans le sens longitudinal, et les corps étrangers sont broyés; par le criblage et le brossage on enlève ensuite les poussières retenues entre les raies des grains, ainsi que les barbes, les germes, les graines noires, etc.

Un second appareil s'applique au curage des sons.

Les moulins à cylindres métalliques de M. Millot sont établis sur bâtis en fonte; les cylindres sont cannelés ou lisses, selon que l'appareil est appliqué au broyage du blé ou au convertissage des gruaux.

Ils sont munis de débrayages et d'avertisseurs automatiques; des entrées, circulation et sorties d'air sont aménagées pour éviter l'accumulation et par suite l'échauffement, sans aspirateurs.

La commande est faite au moyen d'engrenages à chevrons, produisant une marche douce et silencieuse.

Les appareils à quatre cylindres sont munis d'une séparation intérieure, de sorte que l'on peut les utiliser en même temps pour un ou deux produits différents.

Le réglage est fait de telle sorte que dans une marche à vide les cylindres ne peuvent se toucher; la pression est donnée par des ressorts facilitant l'écartement automatique des cylindres en cas de passage de corps étrangers.

Les paliers graisseurs permettent la déviation des axes de la ligne parallèle sans qu'il y ait de frottements; l'échauffement n'est pas à craindre et la pression régulière.

Le même constructeur expose aussi un moulin à cylindres à bâti en bois destiné aux petits moulins; la construction en est simple et peu coûteuse.

L'établissement de M. Millot date de l'année 1852.

Les moulins à cylindres de M. Daverio paraissent bien établis; le moulin à deux cylindres convient plus spécialement pour le désagrégeage et le convertissage des gruaux; il convient aussi pour les petites installations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Celui à trois cylindres est muni d'un distributeur particulier qui permet de faire simultanément deux passages tout à fait distincts, comme dans les moulins à quatre cylindres.

Le cylindre central est fixe; les deux autres sont manœuvrés à volonté pour varier l'intervalle et la pression.

Le moulin à quatre cylindres superposés fait trois broyages consécutifs, sans blutage; il sert aux petits meuniers qui ne veulent pas faire de grands changements dans leurs moulins; il prend peu de force et exige peu de place.

Cet appareil est aussi appliqué pour la mouture du seigle et du maïs.

Un détacheur à disques, sur bâti en fonte, faisant suite au désagrégeur et au convertisseur, sépare les farines des gruaux comprimés et facilite le travail des bluteries ordinaires. Il exige une assez faible force.

La construction des appareils est convenablement traitée.

MM. Feray et Cie, d'Essonnes, exposent un broyeur à cylindres étagés; des plans inclinés ramènent les grains dans les cannelures des cylindres mobiles, ce qui assure un meilleur fendage. Cette disposition est bonne.

Le broyeur a quatre cylindres de 500 millimètres de long et 220 de diamètre; un autre a également quatre cylindres de 350 sur 220; un broyeur a deux cylindres de 350 sur 220; le convertisseur a quatre cylindres de 650 sur 250.

La distribution des blés se fait à l'aide de deux cylindres cannelés à mouvement et débrayage indépendants pour chaque paire de cylindres.

Le parallélisme des cylindres mobiles et fixes est obtenu en montant les axes d'articulation des paliers mobiles sur des chapes qui glissent sur des plans inclinés; quelle que soit l'usure des coussinets, le parallélisme ne peut être détruit.

Des coussinets sphériques reçoivent les paliers des cylindres mobiles; leur grande mobilité permet aux cylindres de s'éloigner légèrement lorsque le passage d'une inégale épaisseur de grains les y oblige.

Les axes d'articulation des paliers des cylindres mobiles et les axes desdits paliers se trouvant dans des plans verticaux différents, il en résulte que pour un très faible déplacement des chaînes des contrepoids les cylindres mobiles s'écartent aussitôt d'eux-mêmes; le débrayage est donc instantané.

Sur le moyeu de chacun des volants de manœuvre des manettes ont été montées; elles viennent buter contre des arêtes fixes lorsque les cylindres sont bien réglés. A simple vue, le conducteur des cylindres voit si le réglage est normal; s'il ne l'est pas, il ramène à la position initiale la manette déplacée.

Les cylindres ne peuvent frotter l'un sur l'autre et les cannelures ne s'émoussent pas à vide; une simple vis de butée limite le rapprochement.

Les appareils de convertissage à quatre cylindres sont bien agencés. Le réglage des cylindres est obtenu par le serrage et le desserrage des vis butant contre les queues des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

paliers mobiles. Si la pression devient forte, des plateaux échancrés, montés sur les têtes des vis de butée et possédant des manettes d'entraînement permettent de développer de grands efforts.

Pour régler la pression suivant la nature du grain, il faut serrer ou desserrer les ressorts à boudin qui sont enfermés dans les boîtes cylindriques en fonte.

Un mécanisme ingénieux permet l'action des ressorts pour le rapprochement du cylindre mobile vers le cylindre fixe.

Les deux paliers supportant le cylindre mobile sont indépendants l'un de l'autre; chacun d'eux est sollicité par un ressort à boudin spécial, ce qui permet de donner une pression différente à chaque extrémité du cylindre.

Un débrayage rapide est appliqué aux cylindres mobiles; il est obtenu sans efforts par la manœuvre d'un volant à poignée calé sur l'extrémité d'une vis inclinée. Cette vis, par l'intermédiaire d'un levier à chape et d'un arbre horizontal portant deux cames, agit en même temps sur les deux mentonnets inférieurs des tiges carrées, comprime les ressorts à boudin et éloigne du cylindre fixe les deux extrémités du cylindre mobile.

Si les cannelures des cylindres distributeurs sont bouchées, quand les gruaux à convertir sont humides et mous, une brosse fixe à pression variable, disposée sous chaque distributeur, frotte contre lui, décrasse les cannelures et assure une alimentation égale des cylindres.

Pour refroidir les cylindres convertisseurs et les produits convertis, les supports des trémies d'alimentation sont mis en communication avec un aspirateur. Le courant d'air passe sous les cylindres et à travers les gruaux convertis qu'il refroidit.

Ces appareils sont bien étudiés; ils sont établis suivant de bonnes traditions mécaniques. L'établissement de MM. Feray et Cie date de plus de quatre-vingts ans et s'est toujours occupé du montage des moulins.

Les cylindres exposés par M. Malliary, d'Essonnes, sont doubles; ils portent, l'un deux paires de cylindres de $0^m 650$, et l'autre deux paires de $0^m 350$.

Au premier appareil sont adaptés les cylindres du système Doloire, faisant la réduction du blé par quatre ou six passages sur un seul appareil.

Les cylindres sont calés à la presse hydraulique sur arbres en acier. Les tourillons tournent dans des rotules d'une seule pièce qui permettent d'agir sur un seul côté des cylindres sans jamais coïncer.

Un graissage abondant est obtenu à l'aide de paliers à vastes réservoirs d'huile; les rotules et les tourillons s'y lubréfient.

Les cylindres sont approchés au moyen de deux disques, indépendants ou solidaires; il est alors possible d'agir sur une seule extrémité ou sur les deux.

Si les axes des cylindres sont légèrement déviés du parallélisme, il faut racheter cette différence; on y arrive en faisant varier la hauteur des axes des paliers mobiles. Il suffit pour cela de desserrer les coins du côté où l'axe du cylindre mobile est le plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

haut par rapport au cylindre fixe; une vis de serrage maintient ensuite le coussinet dans sa nouvelle position.

Par des vis de butée placées devant les paliers mobiles, les cylindres ne peuvent se rapprocher au point de détériorer les cannelures.

L'écartement brusque des cylindres se fait sans dérégler l'appareil, à l'aide d'un levier assez fort pour vaincre la pression des ressorts.

La distribution est réglée par deux disques placés sur le devant de la trémie et d'un râteau agitateur qui empêche tout engorgement.

Une sonnerie à timbre avertit en cas de marche à vide.

Le système Doloire consiste à diviser en deux parties égales les cylindres, par une gorge dans laquelle affleure une cloison fixe.

Cette disposition permet de faire deux passages à la fois côte à côte, mais elle ne permet pas, comme cela a lieu d'habitude, de faire varier les vitesses différentielles pour les passages successifs.

La construction de ces appareils est très soignée; elle dénote une étude complète des divers organes, et au point de vue mécanique, l'ensemble est remarquable.

L'établissement de M. Malliary existe depuis plus d'un demi-siècle; on y a toujours fabriqué les machines de moulins.

Les appareils à cylindres de MM. Pasteger et fils sont soignés; les détails sont étudiés consciencieusement et les mécanismes de réglage, de pression, d'arrêt brusque, etc., bien établis.

La Société Générale Meulière construit des moulins à cylindres à bâtis d'une seule pièce; les appareils sont étudiés, bien compris, notamment le fendeur-dégermeur.

Les moulins à cylindres de M. Goubet sont rustiques, solides; les organes en mouvement sont abrités afin d'éviter tout danger pour le personnel; les paliers très longs sont garnis de forts coussinets en bronze phosphoreux, lubréfiés automatiquement. Les cylindres sont en fonte durcie, les axes en acier, les leviers, volants, etc., en métal nickelé.

Les moulins broyeurs de MM. Dardel, Laurent frères et Collot, Darnel-Bosshardt, Lacroix frères, Maerky-Haller et Cie, Muzey, Bruet, représentent une bonne fabrication courante.

Les prix modérés de ces appareils assurent leur vulgarisation dans les usines moyennes et petites.

Les dimensions des cylindres pour broyeurs et convertisseurs sont à peu près les mêmes chez tous les constructeurs. La même voie est suivie par tous, l'idée originelle dérivant du broyeur Ganz de Buda-Pest.

L'exécution est plus ou moins finie, les vrais principes plus ou moins appliqués et,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

suivant la fabrication, les prix varient de façon que toutes les bourses y trouvent leur compte.

MM. Escher, Wyss et Cie (Suisse) ont exposé des broyeurs à cylindres pour la mouture du seigle. Cet établissement considérable n'a pas présenté ses appareils pour la transformation du blé en farine.

L'appareil est très bien construit; le bâti en fonte d'une seule pièce lui donne une stabilité parfaite. Les cylindres sont trempés sur une forte épaisseur; la fonte est dure et nerveuse; ils peuvent être cannelés 15 à 20 fois et pourront durer 30 à 40 ans.

Le graissage des coussinets est obtenu à l'aide de mèches aspirantes placées dans le coussinet inférieur et ramenant par capillarité constamment l'huile purifiée aux coussinets. L'huile n'est renouvelée que six mois après le remplissage; ce graissage paraît rationnel et économique.

L'emploi des cylindres pour la mouture du seigle donne de bons résultats. Le rendement en farine est de 30 p. 100 environ au-dessous de celui du blé; cela tient surtout à la nature molle du grain, et le son comme les recoupettes restent chargés de plaquettes de farine qu'on ne peut détacher ensuite. Le travail par la meule est insuffisant.

Après l'opération du nettoyage fait au moyen de meules de grès qui ébarbent le grain, le seigle est soumis à un quadruple broyage sous les cylindres. Ces cylindres ont 300 à 400 millimètres de diamètre; leurs cannelures sont spéciales ainsi que les vitesses.

On tient bien serrés les cylindres du premier broyage, à l'inverse de ce qui se fait pour la mouture du froment. Les produits sont des farines, des semoules et des gruaux qu'il est indispensable de bien épurer par le sassage avant de les réduire en farine.

A cause de la grande quantité de farines vêtues, l'emploi d'un convertisseur est nécessaire, mais les gruaux fins peuvent être traités par la meule ainsi que les derniers produits.

Il faut traiter énergiquement la boulange par une bluterie centrifuge; une bluterie ordinaire donnerait des gruaux chargés de farine dont la conversion serait très difficile.

Après les quatre passages par les cylindres, on fait encore deux ou trois passages par les meules afin d'obtenir un meilleur résultat.

Moulins à cylindres en porcelaine. — M. Wegmann (Suisse) a exposé quatre modèles de moulins convertisseurs à cylindres en porcelaine. Les bâtis sont en fonte. La commande a lieu par engrenages; on évite le bruit causé par ces engrenages en enveloppant les bras et la couronne des rouages d'une couche de grenaille de plomb. Les vibrations sonores sont ainsi empêchées et la marche devient silencieuse.

L'usure graduelle des cylindres de porcelaine change la distance des axes et il faut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les rapprocher; la ligne de contact des dents des engrenages est déplacée; le meunier doit bientôt changer les rouages bien qu'ils ne soient pas usés, les dents n'engrenant pas sur le cercle primitif usent beaucoup plus vite et il se produit des vibrations nuisibles au travail.

M. Wegmann a imaginé, pour obvier à ces inconvénients, des engrenages à rapprochement libre. Une roue à double denture engrène intérieurement avec le pignon du cylindre fixe et extérieurement avec la roue du cylindre mobile.

On peut alors rétablir une engrenure exacte, changer la vitesse différentielle en remplaçant une seule roue et faire fonctionner l'appareil à vitesse égale en mettant les roues hors de contact.

Le cylindre en porcelaine peut avoir 0^m350 de diamètre; sa longueur est 0^m600 et peut atteindre 1 mètre. L'appareil donne alors un grand travail; on n'avait pas atteint pareille puissance, et l'inventeur a baptisé son nouveau modèle du nom significatif d'Hercule.

Les paliers sont mobiles dans tous les sens, indépendants l'un de l'autre; ceci est essentiel à cause de la pression uniforme entre les deux broyeurs qui cèdent automatiquement à la résistance de la marchandise.

La construction de cet appareil est bien étudiée.

Le broyeur à cylindres en porcelaine de MM. Beyer frères est établi sur un bâti en fonte dont la stabilité paraît assurée. Les organes de détail sont soigneusement étudiés et l'ensemble constitue un bon appareil.

Pour une production plus forte, sous un petit volume, pour économiser la place, simplifier le dispositif général, MM. Beyer frères ont imaginé un cylindre en porcelaine qui a un mètre de longueur.

M. Millot présente aussi un moulin à cylindres en porcelaine.

Ces divers appareils ne diffèrent que par les détails de construction.

MM. Pillivuyt et C^ie^ (France) fabriquent des cylindres durs en porcelaine de bonne qualité.

Cylindres en fonte durcie. — La fabrication des cylindres en fonte dure est toute spéciale; elle est traitée dans des usines métallurgiques. En Hongrie depuis longtemps déjà cette fabrication était renommée; en France, elle est arrivée dès maintenant à l'égaler, et les fabricants français exportent des cylindres en fonte dure en Suisse, en Belgique, en Espagne.

Le métal doit être très dur, très résistant, très tenace. Une forte ténacité empêche l'arête de s'émousser.

L'opération du cannelage pour être faite sans déchirures ni égrènements exige une malléabilité partielle du métal.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'arête de la cannelure doit être nette, aiguë, tranchante afin d'entamer l'épiderme du grain.

La difficulté est d'obtenir la malléabilité en même temps que la dureté qui rend les corps très fragiles sous l'influence d'un choc ou d'une pression, actions qui se présentent dans le travail du grain.

M. Chaudel-Page a exposé des cylindres en fonte dure bien travaillés; la cassure indique que la trempe est profonde, le grain serré.

Si la dureté et la malléabilité ne peuvent se mesurer que par comparaison, la résistance est connue en soumettant le métal à des épreuves de choc, de traction, de flexion; la fonte de M. Chaudel-Page a donné d'excellents résultats aux expériences.

2° *Broyeurs appliqués à la mouture du blé.*

Le broyeur à chevilles de Carr a été employé par M. Toufflin pour moudre le blé par un seul passage. Deux plateaux armés de plusieurs rangs de chevilles normales tournent en face l'un de l'autre, en sens contraire. Les rangs de chevilles d'un plateau passent entre ceux de l'autre plateau.

Au centre de l'un d'eux le grain arrive d'une manière continue sur un distributeur qui le jette entre les disques; les grains en suspension dans l'air sont lancés en désordre vers la circonférence; ils sont soumis dans leur parcours à d'innombrables chocs dans les deux sens et ils arrivent en dehors des plateaux à l'état de mouture basse.

M. Hignette a imaginé un broyeur à axe vertical; les deux plateaux sont en forme de tronc de cône, à vitesse différentielle. Sur chacun de ces plateaux sont disposées plusieurs rangées concentriques de broches alternant les unes avec les autres, de telle sorte que pendant la marche chaque série des broches inférieures tourne entre deux des séries supérieures.

Le plateau supérieur est porté par un arbre creux de fort diamètre sur lequel est calée la poulie de commande. L'introduction du grain a lieu par l'intérieur de cet arbre creux; les grains arrivant au centre, il ne peut se produire d'échappée. Le plateau inférieur est claveté sur un arbre plein portant la poulie de commande.

L'appareil travaillant est enfermé dans une cuve ouverte sur le côté pour la sortie des produits de la mouture; un bâti en fonte, solide, lui donne de la rigidité.

Les grains introduits par le centre sont chassés par la force centrifuge contre la première série de broches, puis ils rencontrent la seconde série qui tourne en sens contraire, puis la troisième qui tourne à l'inverse de la seconde et ainsi de suite; arrivés à la dernière série des broches, ils sont projetés à l'état de mouture dans la cuve.

Cette machine peut être employée pour la mouture du blé, du maïs, du malt, du riz, de l'orge crue, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les paliers sont à graisseurs automatiques; l'huile y reste fraîche et épurée; il ne peut se produire d'échauffement.

On obtient une farine de premier jet (18 p. 100 environ) très blanche, ayant du corps. Cette farine est ronde sans piqûres, l'épiderme du son n'étant pas broyé puisqu'il glisse sur les broches lisses sans se briser à cause de sa légèreté; l'amande seule est réduite en farine.

Il ne se produit pas de gruaux noirs; ils sont blancs, faciles à sasser parce qu'ils sont bien définis et détachés (non vêtus), ronds et secs. Un appel d'air de l'extérieur à l'intérieur refroidit la boulange. Il vaut mieux, pour moudre le blé, comprimer d'abord légèrement le grain entre deux cylindres lisses; le travail du broyeur en est facilité et on obtient un produit plus blanc.

Les gruaux après sassage sont moulus comme le blé.

Le broyeur de M. Bordier, porté par un bâti en fonte d'une grande stabilité et dérivé du broyeur Carr, se compose de deux plateaux horizontaux garnis de broches en acier, concentriques. Ces broches sont engagées les unes dans les autres par séries; le blé y pénètre par le centre; il sort à la circonférence à l'état de boulange ronde et sèche; les sons ouverts mais non rompus par les broches cylindriques sont un peu frisés; ils ne doivent plus théoriquement contenir d'amande.

Il se produit environ 18 p. 100 de farine de premier jet et beaucoup de semoules que l'on traite ensuite par le sassage.

La mouture est régulière, la boulange sort froide. Le blé seul est moulu; les graines étrangères, nielle, rougeole, ail, etc., plus grasses que le blé glissent sur les broches et vont avec les sons.

Le travail se fait dans les broyeurs Hignette et Bordier de la même façon, les appareils ayant beaucoup d'analogie. On peut dire que dans ces appareils le traitement du blé n'est pas conduit avec assez de douceur. Le public, en examinant les produits fabriqués à l'Exposition par le broyeur de M. Bordier, a pu se rendre compte de son fonctionnement.

M. Schweitzer présente une application de mouture graduelle du blé, très complète; on a pu juger de la fabrication à l'Exposition pendant la durée de laquelle le moulin a fonctionné.

Le fendeur du blé se compose de deux meules métalliques en acier fondu, de forme tronconique, tournant en sens inverse, entre lesquelles passent les grains de blé. Les meules tournent horizontalement, un bâti de fonte porte l'appareil.

Les meules sont taillées de façon à ouvrir le grain dans le sens longitudinal; les cannelures étant de moins en moins profondes vers la circonférence, le grain de blé roulant sur lui-même, touché par la meule supérieure, est pressé contre une arête vive; il est alors fendu en deux et sort des meules.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le grain, restant parallèle à l'arête qui doit l'ouvrir dans le sens de la longueur, ne doit pas être fendu en travers.

Le moulin réducteur vient ensuite traiter le blé fendu; il le déroule pour obtenir les sons les plus larges, réduire progressivement l'amande farineuse en semoules et gruaux. Il fait le moins possible de farines de premier jet, laissant la partie de l'amande riche en céréaline, adhérente à l'enveloppe, pour l'enlever plus tard par une brosse.

On évite avec soin d'introduire cette céréaline dans la composition des belles farines premières, car elle rendrait le pain bis.

La construction du moulin réducteur est analogue à celle du fendeur; les cannelures sont appropriées au travail de la réduction graduelle.

Les meules peuvent être rapprochées pendant la marche; le sens de rotation est tel que les arêtes vives ne se rencontrent pas; on veut en effet dans le système de M. Schweitzer arriver à dérouler le son sans le couper ni le briser.

Les produits passent successivement dans trois moulins réducteurs; avec le fendeur on arrive ainsi à quatre passages.

Le moulin français, système Guillaume, est présenté par MM. Daydé et Pillé, de Creil. Il se compose de petites meules verticales en fonte; l'une est fixe, l'autre mobile; des rainures faites sur les faces travaillantes produisent des arêtes vives.

Cet appareil opère la mouture du maïs trempé, ce qui produit une farine ténue et douce au toucher; il sert à repasser les pulpes de pommes de terre traitées par la râpe centrifuge afin d'achever l'opération.

Il est employé en amidonnerie pour réduire le riz, le maïs, l'orge, le blé et le seigle à un très grand degré de ténuité.

En distillerie, il est utilisé pour le concassage de tous les grains; on rapproche plus ou moins les meules, suivant le but à atteindre. Le débit augmente beaucoup en même temps que la grosseur du concassage.

M. Huteau expose un appareil qui concentre en un faible volume le fendeur, le bluteur, le brosseur et le désagrégeur.

Tous ces appareils, fusionnés, tiennent dans un bâti métallique composé de trois colonnes réunies par des cercles. Dans le haut, arrive le grain qui est fendu par un cône métallique cannelé; au-dessous ont lieu le blutage et un brossage centrifuges.

Le blé fendu et nettoyé subit un premier passage de mouture haute; puis un deuxième blutage et brossage centrifuge.

Les sons insuffisamment curés et enfin les semoules encore peu désagrégées arrivent au dernier passage.

Cette machine est économique, sans doute; il est à craindre cependant que l'on ait trop cherché la concentration en un seul appareil.

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il n'est pas facile de savoir ce qui se passe exactement dans les broyeurs; le mode d'action des chevilles sur les grains de blé ne peut être déterminé scientifiquement.

Que se passe-t-il pour le grain en suspension dans l'air, soumis à des chocs répétés? Dans la masse de l'amande se produisent d'abord des fissures, un autre choc les augmente. Après une succession de chocs, de renvois des grains d'une cheville à l'autre, il doit y avoir évidemment pulvérisation complète.

Elle est complète, en effet, si l'on donne une vitesse considérable aux disques; si donc le nombre des chevilles est bien calculé, l'action de l'appareil sera assez ménagée pour qu'on puisse obtenir des gruaux dans de bonnes conditions, que le curage du son soit possible et que l'on tire du blé une proportion de farine désirable.

Malgré les chocs, le grain peut fuir; les pellicules, les enveloppes du grain sont moins atteintes que l'amande. Cependant, si le choc est énergique, la réduction sera plus subite et quelques fragments de son seront détachés. Mais cette pulvérisation du son en suspension dans l'air est moins à craindre que pour les grains comprimés avec choc entre les deux surfaces dures des meules ou des noix d'acier et de fonte.

Cet inconvénient diminue si l'on mouille légèrement le grain dont l'enveloppe prend alors une certaine élasticité et devient moins sujette à se réduire en poudre impalpable.

Quant à la force prise pour le travail, ce mode de réduction exige au moins autant de force que les meules de pierre et les cylindres. L'entretien est amoindri, les chevilles d'acier ne paraissant guère s'user.

En somme, l'action sur le blé paraît un peu brutale.

3° *Meules de pierre.*

L'action exercée par les meules de pierre sur les grains de blé est un véritable râpage; si les éveillures peuvent concasser le grain, le déshabiller, il n'en est pas moins vrai que la plus grande somme de travail mérite ce nom.

Vers la fin du XVIII^e^ siècle, les meules étaient à surfaces lisses, presque planes avec un peu d'entrée; parfois quelques sillons suivant les rayons géométriques. C'est à partir de cette époque que le rayonnage rationnel s'est répandu dans les moulins. Par tâtonnements raisonnés, les meuniers sont arrivés aux dispositions de rayonnages acceptées aujourd'hui avec des variantes.

Les grains sont répartis sur toute la surface de la meule au moyen de sillons creux; au cœur, les sillons plus ouverts servent à concasser le grain, à l'ouvrir et à l'étaler en cassant l'amande; ils convertissent les gruaux à l'entrepied et même à la feuillère.

Les parties planes ou portants, finement ciselées, qui séparent les sillons, divisent les gruaux en les roulant sous pression et curent le son en le râpant.

Ainsi, les rampants des sillons creux ou rayons écrasent et ouvrent le grain; même ils le déshabillent par une pression mêlée de chocs. Les portants râpent le son épandu pour le curer et convertissent les gruaux en farines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les rayons compriment peu à peu le grain dans sa marche vers la circonférence, laissant le son étalé sur les portants. Le poids de la meule supérieure, mobile, se répartit sur la multitude de grains, granules, gruaux et sons qui couvrent la meule inférieure.

En même temps que la meule de pierre, mobile, exerce une pression par son poids sur le grain, elle transmet aussi un choc qui est d'autant moins rude que le rayon est moins incliné et *vice versa*. Les rayons d'ailleurs se rapprochent obliquement, leur choc s'en trouve réduit puisque le grain est chassé vers la circonférence.

La profondeur des sillons allant en décroissant du centre à la circonférence, la marchandise, suivant le terme consacré, de plus en plus menue, est soumise partout à la même action écrasante des rampants. Partout aussi les portants raclent et râpent la marchandise à ses divers états de grosseur.

Par les chocs et les râpages, une petite partie de l'enveloppe est pulvérisée et après les meilleurs blutages il reste quelques fragments impalpables de son et aussi des fragments de germe moulus et râpés.

Ce défaut est d'autant plus accusé que la mouture est plus basse. En mouture haute ces inconvénients sont réduits à un minimum dépendant beaucoup de l'habileté du meunier.

Par le travail des meules, les sons peuvent être curés énergiquement ; ils sont larges, plats, réguliers. Un bon meunier, sachant régler ses meules, peut faire de bonne farine.

Les meules de pierre ont d'ailleurs été perfectionnées depuis l'apparition des cylindres ; un inconvénient très grave est, qu'après avoir été écrasés, les granules, les gruaux, le son lui-même doivent passer entre les portants et subissent là un frottement, un râpage qui peut mêler à la farine blanche des fragments très petits de l'enveloppe du grain. Pour amoindrir cet inconvénient, on a diminué la largeur des portants.

Si les meules sont mal conduites, la chaleur développée par le frottement des portants peut être assez forte pour produire un mauvais effet sur le gluten ; par une aspiration d'air on évite en partie cet inconvénient.

De ces considérations il résulte qu'il convient de ne plus faire de mouture basse avec les meules, mais de la mouture haute ou tout au moins intermédiaire.

Les meules modernes avec un bon blutage peuvent, dans ce système, donner une farine plus ou moins voisine de la perfection, qui sera assez belle pour satisfaire un grand nombre de consommateurs. Le pain provenant de cette farine sera convenable, ayant bon goût et se conservera frais assez longtemps.

En employant avant les meules un fendeur-dégermeur avec sa bluterie, on peut débarrasser le grain de la poussière noire, du germe et des impuretés contenues dans la fente du blé ; la farine est ainsi beaucoup améliorée.

En somme, les meules, qui subsistent aujourd'hui encore si nombreuses dans les applications de l'industrie, pourront rendre longtemps encore de réels services.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour la fabrication des meules, il faut choisir des pierres siliceuses, dites *meulières;* leur composition comprend de la silice pure, un peu d'alumine et d'oxyde de manganèse.

En Hongrie, en Amérique et surtout en France, on rencontre ces pierres meulières; c'est dans le bassin de la Seine qu'elles sont le plus abondantes et de meilleure qualité pour la mouture du blé.

Les gisements les plus importants sont à la Ferté-sous-Jouarre et environs, Épernay, Tousson, Saint-Yon près Corbeil, Épernon, Nogent-le-Rotrou, etc.

Il en existe aux environs de Poitiers, de Cinq-Mars-la-Pile, de Lésigny, à Bergerac, Domme, à Bouchat dans l'Allier, etc.

La meule est fabriquée avec des morceaux homogènes, de qualité convenable; on en forme des panneaux dont les faces sont dressées à la main ou mécaniquement.

Le rayonnage des meules se fait aussi à la main.

Les meules en pierre, exposées par M. Petit (ancienne maison Fauqueux), de la Ferté-sous-Jouarre, sont bien fabriquées; la pierre est d'excellente qualité; l'assemblage et le groupement des panneaux sont très soignés. Il y a homogénéité dans toute la surface travaillante.

MM. Dupety et C^ie^, de la Ferté-sous-Jouarre, présentent aussi des meules bien faites et de bonne nature de pierre; le rayonnage est bien compris.

La Société générale meulière expose des meules de bonne nature, bien travaillées.

Les meules de la grande Société meulière de Cinq-Mars-la-Pile sont convenablement traitées; les meules courantes sont garnies d'une grande cuvette porte-anille; les boîtes d'équilibre paraissent bien agencées.

MM. Lallier, Vernot et C^ie^, de la Ferté-sous-Jouarre, présentent des meules dont les morceaux parfaitement jointés sont réunis par un ciment très dur. L'assemblage est uniforme et homogène.

Une de leurs meules à grain vif, serré, est destinée à la mouture des grains très durs. Il y a des meules pour la trituration des matières dures, ciments, phosphates, etc., des petites meules d'une seule pièce pour émaux, couleurs, etc.; des cylindres en silex tournés, munis d'arbres en acier.

Parmi les exposants de meules à moulin figuraient également MM. Angot de Bezenet, Giraud d'Étrechy, Molin fils et C^ie^ de la Ferté-sous-Jouarre.

La meule granulante de M. Renoult, de Paris, tient dans une cuvette en fonte; il y a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trois parties concentriques distinctes. Le cœur, fait d'une petite meule en pierre, commence la granulation du blé; l'entrepied est métallique, à rainures; il achève la formation des granules qui traversent des plaques perforées ; les sons gras restent, ils sont curés sur la feuillère faite de pierre comme le cœur, et s'échappent à la circonférence.

Cette meule présente un certain progrès sur celle de M. Aubin, dont elle dérive.

La meule de M. Giraud d'Étrechy extrait la poussière ; elle a des entrées très ouvertes.

Il n'a pas été exposé d'appareils pour l'élimination de l'ail ; cette graine, dans certaines régions, en France dans l'Ouest et le Sud-Ouest, est souvent mélangée en assez grandes proportions avec le blé.

L'ail tendre et gras, surtout après la récolte, encrasse les meules et les cylindres qui doivent être soumis à de fréquents lavages, ce qui nécessite chaque fois un arrêt du moulin.

Comment obtenir la séparation de l'ail et du blé? La graine d'ail, par sa forme, ses dimensions et sa densité, échappe aux appareils du nettoyage. Sa similitude de forme et de grosseur avec le blé lui permet de passer à travers tous les trieurs, à tamis, à grilles munies d'alvéoles. Son poids spécifique étant à peu près le même que celui du blé, l'action des aspirateurs est vaine.

Un intérêt considérable s'attache à la séparation de l'ail du blé, que le cultivateur ne peut lui-même retirer de la semence ; il faut espérer que les constructeurs résoudront cette question avant la prochaine Exposition universelle.

III. BLUTAGE ET SASSAGE.

Au moment de l'Exposition universelle de 1889, la question des blutages semblait avoir atteint la période sensationnelle, surtout en Amérique.

Nous ferons un court historique de cette opération capitale.

De temps immémorial, on s'est efforcé de séparer le son de la farine; les premiers appareils étaient mus à la main, comme les meules elles-mêmes. On leur imprimait des secousses par un mouvement alternatif; ils étaient de la classe des tamiseurs ou dodinages.

Des tamisiers allaient de maison en maison pour préparer ou épurer la farine à panifier; les mouvements étaient rectilignes et curvilignes en même temps.

Les premiers tamis furent des paniers plats en jonc ou en osier tressés; les Égyptiens se servaient de tamis faits de filaments de papyrus ou de joncs très fins; les anciens habitants de la péninsule espagnole les fabriquaient en tissu de fil, et les Gaulois avec les crins de leurs chevaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les Juifs, dès le temps de Moïse, offraient dans les cérémonies religieuses des gâteaux faits de fleur de farine, ce qui implique un blutage.

Plus tard, les consommateurs étant plus exigeants sur la blancheur et la pureté de la farine, on fit des tissus blutants plus serrés en laine (étamine), en fils de chanvre et de lin, enfin en soie.

Pour le fond des tamis on employa jadis des peaux finement percées ; de nos jours, des plaques perforées servent à certains blutages.

On mettait aussi la boulange dans un sac ou chausse en soie de porc ; le fond étant accroché à un poteau, on secouait brusquement. La farine sortait par les interstices entre les poils du tissu et le son restait dans le sac.

Dans les moulins à eau on fit donner la secousse par le mécanisme. Un arbre vertical armé d'un bâton recevait un mouvement alternatif de rotation ; le bâton frappait périodiquement contre le flanc du sac plein de boulange et provoquait la chute de la farine. C'était le bluteau lâche.

Les bluteaux frappants en tissu de laine étaient un perfectionnement du sac ou sas à main. L'entrée ouverte restait horizontale, la sortie de cette sorte de cylindre maintenu par un cerceau avait une section verticale.

La boulange entrait en tête, cheminant par la gravité ; un mouvement de sassage secouait l'appareil. A travers le tissu passait l'extrait ou farine ; en queue, tombaient les sons très gras et on les séchait dans un appareil semblable, nommé *dodinage*, à mailles plus grandes.

Après divers perfectionnements, vint le bluteau cylindrique tournant. Comme la marchandise se collait contre les tissus, par l'effet de la force centrifuge, une série de marteaux ou de battes frappaient l'un après l'autre sur la carcasse du cylindre pour dégorger les mailles.

Le bolting-mill des Anglais appartient à cette classe d'appareils. La boulange était mise dans une sorte de sac tournant très vite et choquant contre des barres fixes parallèles à l'axe. Il y avait trop de secousses et ce blutage forcé entraînait trop de son avec la farine.

En 1785, il y a un peu plus de cent ans, Drancy imagina des bluteries prismatiques ; on les fit à 6, 8 et même à 12 pans ; le diamètre variait de 0 m. 600 à 1 m. 300 et la longueur de 2 m. 600 à 8 mètres. On leur donne ordinairement une vitesse de 30 révolutions à la minute.

Il existe encore un très grand nombre de ces bluteries ; la boulange est agitée et entraînée en même temps ; elle retombe, est entraînée de nouveau et à chaque tour descend un peu.

Le blutage ainsi produit est assez rapide ; on l'accélère au moyen de marteaux frappants, ce qui dégage la soie ; on a aussi essayé de nettoyer les faces extérieures des tissus, au moyen de brosses, pendant la marche.

L'inconvénient de ces appareils est qu'ils ne donnent pas assez de travail, la surface travaillante de la soie ne dépassant pas le quart de la surface totale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dès 1686, en Angleterre, parut, imaginé par John Finch, un cylindre en toile métallique, dans lequel tournaient de longues brosses parallèles à l'axe. En 1765, John Mile construisit un appareil analogue avec brosses disposées suivant des hélices.

M. John Smith de Bradford, en 1829, imagina une bluterie à cylindre en toile métallique légèrement inclinée, tournant lentement pendant qu'à l'intérieur un batteur à brosses lançait et poussait la boulange contre la toile blutante; à l'extérieur, des brosses, dont les poils appuyaient légèrement sur la toile, maintenaient ouvertes les mailles de cette toile.

A l'Exposition de Londres, en 1851, M. Shore exposait un appareil à peu près semblable, dans lequel la brosse tournante était remplacée par un batteur à ailettes (300 tours) lançant la boulange contre la soie (20 à 30 tours) mise à la place de la toile métallique. C'était la bluterie centrifuge qui apparaissait.

En même temps Ashby exposait une bluterie centrifuge à axe vertical.

La bluterie ordinaire prend beaucoup de place, son travail est lent, et c'est pour ces causes que pour la remplacer on a construit nombre de bluteries à brosses avec toiles métalliques; depuis quelques années également les bluteries centrifuges ont été l'objet d'améliorations importantes.

Le cylindre de la bluterie centrifuge doit être très solide; le squelette est formé de côtes en cercles maintenues avec les fonds par des tringles parallèles à l'axe. Il est garni extérieurement d'une toile métallique ou d'un tissu de soie. A l'intérieur, un batteur portant de nombreuses ailettes planes parallèles à l'axe ou courbées en hélice tourne rapidement autour de son axe.

Ce batteur agite vivement la marchandise à bluter et la projette par la force centrifuge contre le tissu blutant.

Quelquefois on fait tourner le cylindre blutant en sens contraire du batteur; des brosses tournantes à axes fixes nettoient la toile extérieurement.

Ces appareils ont été introduits en Allemagne, il y a une trentaine d'années; un peu plus tard, aux États-Unis. En Angleterre, ils ont été améliorés et, en France, les bluteries centrifuges ont apparu en même temps que les cylindres, il y a une douzaine d'années; elles y sont encore rares.

Il semblerait que la bluterie cylindrique en ce moment gagne du terrain, parce que le blutage n'y est pas forcé et que la marchandise n'y reçoit pas de chocs capables d'aplatir la farine, et de laisser des fragments de son produit par ces chocs mêmes traverser le tissu. Mais il lui faut un très grand développement de surface.

Aussi cherche-t-on à augmenter la surface travaillante; l'appareil peut arriver à une puissance de travail utilisée de 50 p. 100 en remontant la farine à l'intérieur par des élévateurs.

Les Américains semblent rejeter la bluterie prismatique et lui préférer la bluterie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindrique qui a un travail plus doux et satisfait à toutes les conditions qu'on peut désirer au point de vue du bon travail.

On a voulu, pour économiser la surface blutante, mettre un batteur dans un cylindre horizontal; c'était un perfectionnement de la bluterie à brosses des Anglais. Cette brosse pousse la boulange contre la toile tamisante, un peu brutalement. Il y a des inconvénients et cette bluterie à brosses ne paraît pas en faveur en ce moment; elle sert au curage des sons.

La bluterie centrifuge donne un travail forcé; la toile s'use, se déchire même et des impuretés ténues passent à travers avec la farine. On a perfectionné cet appareil dans ces derniers temps; sans ce perfectionnement, il aurait dû être rejeté.

En Amérique, il s'est produit un perfectionnement sérieux; la marchandise est remontée pendant la marche; la masse qui tombe au fond est écrémée, partiellement remontée, ce qui accroît la portion active de la surface blutante.

Cette manière de faire ramène à ce principe qui consiste à faire le blutage avec douceur et constitue le véritable progrès.

On a également conseillé l'emploi de bluteuses planes; les résultats que celles-ci ont donnés ne sont pas encore satisfaisants.

L'auteur de ce rapport a imaginé, pendant l'Exposition de 1889, un appareil de blutage basé à peu près sur le même principe. Cinq plateaux superposés, de 1 m. 800 de diamètre, écartés de 0 m. 500, reçoivent successivement la boulange et ses produits venant du haut. Ces plateaux sont garnis de soies et les produits cheminent en s'épurant dans les sentiers préparés à cet effet.

La marche leur est donnée par un arbre vertical coudé à chaque plateau et imprimant à chacun une secousse tamisante; des lanières supportent les plateaux et les maintiennent horizontaux, en se prêtant au mouvement.

On arrive ainsi à utiliser la soie sur toute la superficie, sans aucune perte; de plus le travail est fait avec douceur, condition excellente.

Malheureusement, la bluterie tamisante Béthouart, travaillant doucement les produits, secoue un peu les planchers, et une expérience définitive ne l'a pas encore classée parmi les appareils vraiment pratiques.

L'opération du sassage des gruaux a pris une grande importance depuis quelques années, lorsque la mouture à cylindres est devenue en si grand honneur. Elle consiste à séparer des gruaux les rougeurs qu'ils renferment et à classer ces gruaux suivant leur grosseur. Ce travail se fait en vertu de la différence de densité des matières à séparer.

Pour la fabrication des semoules, l'opération est facile.

La mouture à cylindres produit beaucoup de gruaux de grosseurs diverses; pour en tirer la farine il faut les épurer complètement et les classer méthodiquement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le sassage des semoules se faisait autrefois avec des sas ou tamis à main en peau perforée; elles passaient au travers, les sons plus larges qu'elles restaient à la surface.

Par un second tamis, plus fin que le premier, on retenait la semoule et la semoulette passait. La semoule la plus lourde et de plus belle qualité garnissait le fond du sas et le son plus léger restait par-dessus; on raclait le son avec la main pour s'en débarrasser.

L'opération du sassage était délicate; elle exigeait des ouvriers adroits et exercés.

Aujourd'hui, au moyen des nombreux sasseurs qui ont figuré à l'Exposition, et dont quelques-uns se distinguent par l'élégance de leurs formes et le fini de leur fabrication, le travail s'exécute mécaniquement et de la façon la plus satisfaisante; il n'en exige pas moins une surveillance attentive de la part du personnel et la vigilance du maître doit être soutenue.

Il existe une petite lutte entre le sasseur et la bluterie; nous en parlerons sommairement.

Le sasseur a aidé beaucoup la nouvelle mouture à passages multiples par la facilité qu'il apporte pour l'épuration des semoules. On lui reproche de ne pas avoir une puissance de blutage aussi forte que celle d'une bluterie, ce qui oblige à prendre un tissu à trop grandes mailles, d'où une classification par grosseurs incorrecte.

Les semoules devraient être classées par leur poids spécifique avant d'entrer dans le sas. Bien divisées par grosseurs, exemptes de farines, mais contenant des rougeurs, sons fins et germes, elles doivent être étalées en couche mince, soumises à l'action d'une ventilation douce, large et haute qui enlève ces corps légers; il ne se produit pas alors de déchets inutiles, ce qui arrive quand on insuffle constamment de l'air nouveau sous le sasseur.

Le classement a été fait par le diviseur, il l'est de nouveau et assez mal par le tamis; le vent ne peut enlever tous les corps légers en agissant sur la semoule qui passe dans des conduits étroits.

S'il y a du vrai dans cette critique, il ne faut pas toutefois la prendre trop à la lettre, car, jusqu'à ce jour, les sasseurs produisent un travail convenable.

Pour supplanter le sasseur on conseillerait une bluterie cylindrique, recevant les semoules, et dont les gazes de soie seraient de numéros divers. On recueillerait séparément les gruaux tombant du cylindre à travers les soies, et un ventilateur agitant avec douceur une large nappe d'air à travers la couche de semoules entraînerait les sons et les germes.

Cet appareil ferait-il un meilleur travail que le sasseur? L'expérience ne l'a pas dit encore. Ce serait, en tout cas, une sorte de sasseur cylindrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

BLUTERIES DIVERSES.

Les bluteries ordinaires, les bluteries centrifuges, les brosses à sons sont établies par les constructeurs sur des types à peu près semblables à ceux que nous avons indiqués dans le paragraphe intitulé : *Blutage*.

MM. Brault, Teisset et Gillet font des petites bluteries simples, doubles ou quadruples, dans un même bâti pour le service des broyeurs aux passages successifs.

Leur bluterie centrifuge à panneaux démontables assure le remplacement facile et rapide des soies. Un autre modèle a les soies lacées extérieurement sur un squelette métallique; une brosse rotative nettoie la soie, et le batteur portant plus de palettes, la surface blutante utilisée est plus considérable.

Pour le service des broyages, MM. Robinson et fils emploient un crible séparateur à mouvement rotatif; cet appareil agit très doucement, la farine de broyage diminue en quantité et on a plus de semoules, ce qui vaut mieux.

Trois séparations distinctes se produisent : le blé concassé, la semoule et la farine de broyage. La semoule va aux sasseurs directement; comme c'est la meilleure, on la traite séparément sans la laisser se mélanger aux gruaux inférieurs.

Leur bluterie centrifuge est à bâti de fonte; les batteurs sont en fer; le cylindre reçoit le mouvement par l'arbre du batteur au moyen d'engrenages. Les côtes recevant la soie sont en acier et rapprochées, ce qui donne à celle-ci plus de tension et la conserve mieux.

La brosse à sons de MM. Robinson et fils est horizontale; elle consiste en un fort cylindre conique garni de fils de fer: à l'intérieur, des brosses rotatives débarrassent le son de la farine qu'il contient et la rejettent à travers les fils de fer; le son s'écoule par le bas.

Une brosse rotative extérieure nettoie le cylindre, ce qui augmente la production. Les brosses intérieures peuvent être réglées pendant la marche.

M. Hignette expose une bluterie verticale à farine et à son. Le cylindre tourne à petite distance dans un châssis cylindrique. Des hélices fixées sur le cylindre mobile donnent un mouvement d'ascension rapide à la matière à bluter, le produit du blutage traverse le châssis garni de toile métallique ou de soie. L'appareil tient peu de place.

Le même constructeur présente aussi une bluterie à peu près horizontale; le squelette du cylindre est divisé sectionnellement en quatre parties entourées de soies; on a donc augmenté d'une façon notable la surface blutante.

Les bluteries centrifuges de MM. Rose frères, Howes et Elwell, Smith, Carter, Pasteger, Millot, Feray, de la Société générale meulière, ont beaucoup d'analogie entre elles.

La disposition indiquée par MM. Howes et Elwell est bien étudiée; la soie peut être attachée sur le dévidoir en quelques minutes; au moyen de deux vis placées l'une sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'autre, la farine est mieux divisée; une vis à brosse garnie d'une gaze métallique à l'entrée de la bluterie permet de faire sortir les déchets.

M. Smith a placé contre la soie des ramasseurs au nombre de six, longitudinaux, concaves et mobiles. Au fond ils ramassent la marchandise; en atteignant le haut, ils se renversent, laissant libre la surface blutante. Le blutage se trouve ainsi accéléré par l'action de ces ramasseurs. Un désintégrateur détache les écailles ou matières collées ensemble avant l'entrée dans le cylindre.

Un autre appareil est exposé par M. Smith; la centrifuge et l'extracteur sont superposés dans le même bâti. On pourra bluter les derniers concassages, les gruaux contenant des germes et tout produit nécessitant une séparation avant d'être bluté.

M. Bordier, pour traiter les produits de son broyeur, a exposé un blutage semblable à celui usité pour les meules : une bluterie à extraire, une bluterie à diviser les semoules, une pour les farines extraites et une petite pour le son. Ces appareils peuvent être courts, les marchandises étant très sèches.

M. Schweitzer a présenté un tamis bluteur formé d'une toile métallique ou d'une soie tendue sur un cadre rectangulaire; le mouvement imprimé est latéral; plusieurs tamis sont superposés dans le même bâti. Les produits légers remontent à la surface; les plus lourds sont en contact avec les mailles, d'où résulte un premier sassage.

On remarque aussi les bluteries centrifuges de MM. Dardel, Goubet, Caens, Darnel-Bosshardt, Maurel, Decollogne.

MM. Maerky, Haller et C^ie^ (Suisse) ont exposé divers appareils de blutage, nouveaux et originaux; le travail de menuiserie est bien traité; pour les gruaux une sorte de bluterie plane paraît bien étudiée. Des appareils à brosse servent au curage des sons; ils n'offrent rien de particulier.

M. Outrequin, d'Orléans, a exposé une bluterie ronde; la boulange débarrassée du gros son vient glisser sur la soie; elle s'y appuie par sa pesanteur sans projection ni secousses.

Il n'y a pas de barres longitudinales à l'intérieur du cylindre; le travail ne subit donc pas d'interruption, la soie cheminant sous la boulange à une vitesse lente et régulière. Il se développe par suite de son avancement une surface considérable de travail; une petite brosse extérieure mobile nettoie et dégage les mailles de la soie. Cette bluterie ronde permet d'utiliser le tissu sur une grande partie de la circonférence; elle donne de bons résultats.

Si on remontait la boulange dans le cylindre au moyen d'élévateurs, on obtiendrait une surface blutante, embrassant la moitié de la soie et l'appareil serait alors fort amélioré. Il y a, pensons-nous, intérêt pour les constructeurs à chercher dans cette voie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SASSEURS.

Comme les bluteries centrifuges, les sasseurs ont figuré, en grand nombre, à l'Exposition universelle; ils avaient tous un air de parenté comme les premières avaient une grande ressemblance.

MM. Brault, Teillet et Gillet ont exposé un sasseur à aspiration simple; un autre avait en plus une aspiration sous le tamis.

Le sasseur « Réforme » comporte deux types : l'un muni d'un filtre, l'autre sans filtre; de petits canaux en zinc placés au-dessus de la soie enlèvent au fur et à mesure de leur soulèvement les impuretés des marchandises qui passent sur les tamis. Les farines folles, entraînées par l'aspiration, sont arrêtées par le filtre et recueillies à part.

On obtient avec cet appareil des produits très fins et on peut épurer les petits gruaux.

Le sasseur de MM. Robinson et fils se rapproche de ce dernier; les impuretés les plus lourdes recueillies dans une série de rigoles sont évacuées par une brosse mobile dans une vis sans fin et les impuretés légères sont entraînées par le courant d'air dans la chambre à poussières.

Les sasseurs de MM. Rose frères, Smith, Sloan et C^ie^, Millot, Pasteger fils, la Société générale meulière, etc., sont bien traités.

Dans les sasseurs Smith et Rose frères un courant d'air traverse la garniture en soie d'un tamis dont les numéros sont plus gros en allant vers la queue; la chambre d'air supérieure communique avec l'aspirateur par des trappes régulatrices; la force du courant peut être réglée séparément pour chaque chambre. Au-dessus de la chambre à air est disposée une série de compartiments à poussière. Une brosse passe sous le tamis, détache les fines particules de farine attachées dans les mailles de la soie, ainsi que les granules de gruaux trop grands qui les obstruent.

MM. Rose frères, au moyen d'un ramasseur placé dans la cheminée d'aspiration, enlèvent les pellicules et folles farines qui s'y déposent et vont dans une chambre spéciale ou dans un collecteur.

Il convient de signaler encore les sasseurs de MM. Schweitzer, Dardel, Goubet, Darnel-Bosshardt, Caens, Maurel, Muzey, Reiser (Suisse), Chevalier, etc.

M. Goubet met au-dessus du tamis une grille à canaux longitudinaux évasés par le haut; l'air passe, contracté, entre les canaux, se détend au-dessus, et dans les canaux se déposent les matières lourdes, fins finots piqués, petits sons, etc., tandis que les plus légères, piqûres, soufflures, etc., sont emportées vers la chambre ou le collecteur.

Le sasseur Caens est mû par un mouvement alternatif qui paraît bien compris.

Le sasseur à semoules de M. Maurel présente de bonnes dispositions; il en est de même de son sasseur-aspirateur à double effet pour l'épuration des fins gruaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COLLECTEURS À POUSSIÈRES.

Le collecteur de MM. Robinson et fils comprend des poches de flanelle à rangées simples ou doubles. Dans les chambres de côté arrive l'air poudreux des ventilateurs des cylindres, des meules, des sasseurs; il y est soufflé; les poches retiennent la poussière et l'air s'échappe à travers leurs mailles. Un mécanisme permet, au moyen de leviers, de secouer les poches de flanelle; la poussière tombe dans une vis sans fin.

MM. Rose frères exposent un collecteur analogue; ces appareils sont très ingénieux et rendent d'utiles services dans les moulins.

Le collecteur de MM. Feray et Cie comprend aussi des feutres qui arrêtent les folles farines ou poussières.

Par un cyclone, MM. Brault, Teisset et Gillet font arriver l'air dans un conduit étroit avec une certaine vitesse; au collecteur il perd sa force vive tout en faisant tourner un cylindre à ailettes par suite d'un élargissement brusque de section. Les matières en suspension se déposent sur les cylindres en tôle placés concentriquement dans l'appareil et sont recueillies dans un ensachoir. L'air s'échappe, épuré, par-dessus.

L'appareil de M. Millot est analogue.

Le collecteur, système Comerford, exposé par MM. Jules Sloan et Cie, de Paris, est basé sur un principe nouveau. L'air chargé de poussière est filtré à travers des petits blés disposés à cet effet.

Le petit blé ou tout autre produit devant retenir la poussière descend du haut du collecteur d'un mouvement continu; il se charge dans son parcours, entre les parois du collecteur, de la poussière contenue dans l'air envoyé par le ventilateur.

A la sortie de l'appareil, le petit blé est débarrassé dans une bluterie à toile métallique de la poussière qu'il a prise dans le collecteur et, devenu propre, il recommence son trajet.

Répartition du broyage. — MM. Jules Sloan et Cie exposent un système très intéressant de répartition de broyage, inventé par MM. Carter et Zimmer.

Le classement des produits du broyage s'opère par densité. Sous l'action d'une ventilation puissante et uniforme les particules de son et de blé sont classées suivant leur poids, c'est-à-dire suivant leur degré exact de décorticage.

On obtient après le deuxième passage des particules de blé et des pellicules de son en état d'aller aux cinquième et sixième passages ou même en sac comme produits finis; il devient, dès lors, inutile de les faire passer dans les troisième et quatrième broyages.

On fait la répartition simple et la répartition double.

On obtient dans ces conditions des sons larges, moins de fins sons, de la farine de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

boulange plus blanche, une augmentation de production, des semoules et gruaux de premier jet purs, peu ou point de gruaux vêtus.

Cet appareil mérite d'être signalé.

CONSERVATION DES FARINES.

La conservation des farines présente un grand intérêt; l'alimentation des armées de terre et de mer dépend de cette conservation; l'industrie meunière pour les transports par mer se préoccupe également de la question.

La farine de blé renferme 10 à 15 p. 100 d'eau; elle peut en absorber davantage, étant très hygrométrique; il faut chercher à diminuer cette proportion. En effet, à partir d'une température de 14 à 15 degrés centigrades, sous l'influence de l'humidité, les matières azotées contenues dans la farine entrent en fermentation; on évite cette fermentation en enlevant l'eau hygrométrique et la moitié de l'eau que la farine contient normalement.

La farine, quand elle ne contient que 8 p. 100 d'eau, se conserve facilement; cette eau, ainsi enlevée de la farine, rentre dans la pâte lors du pétrissage; il ne se produit pas de déchet en réalité puisqu'il y a compensation.

M. Touaillon fils a exposé une étuve mécanique composée de cinq plateaux de 2 mètres de diamètre, munis chacun d'un robinet qui introduit la vapeur dans un serpentin placé à l'intérieur de chaque plateau.

Par ce robinet, on règle à volonté la température qu'indique un thermomètre fixé sur chaque plateau; on peut tenir le premier plateau à 40 degrés centigrades, le deuxième à 50, le troisième à 60, le quatrième à 70, le cinquième à 80, limite qu'il ne faut pas dépasser.

La farine arrive au centre du plateau le plus élevé; elle y est promenée sur la surface chaude au moyen d'un râteau à quatre branches munies de palettes excentriques; à la circonférence, la farine, par une anche, tombe sur le deuxième plateau. Les palettes du râteau de ce deuxième plateau ramènent la farine au centre d'où elle descend au troisième plateau, etc.

La farine parcourt ainsi les surfaces de plus en plus chaudes des cinq plateaux. A la sortie du dernier, elle ne contient plus que la quantité d'eau qu'on veut lui laisser et elle va se refroidir dans une chambre à ensacher.

On peut transformer les plateaux inférieurs en réfrigérants en y introduisant de l'eau froide, pour éviter d'envoyer la farine dans une chambre spéciale.

La farine étant refroidie, on la met dans des caisses métalliques, dans des barils ou dans des sacs de toile imperméable.

L'appareil de M. Touaillon fils peut traiter de 4 à 600 kilogrammes de farine par 24 heures; il est bien construit, et peut rendre de réels services.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS DE MANUTENTION DES BLÉS ET FARINES.

Lorsque le blé arrive en vrac par bateaux, on le décharge au moyen de chaînes à godets ou norias; le blé, pris directement dans le navire, est versé dans les boisseaux du moulin ou du dock.

Dans les magasins considérables, dans les grands moulins, tous les transports de matières se font aussi mécaniquement.

M. Burton fils, de Paris, a exposé des élévateurs et transporteurs puissants; il applique la chaîne d'élévateur du système Ewart à maillons détachables qui est d'un bon usage.

Il construit des appareils de grande puissance, pouvant décharger d'un bateau 500 quintaux de blé à l'heure à la vitesse de 1 mètre à 1 m. 20 par seconde.

M. Burton fils fabrique aussi des appareils de moindre force pour l'intérieur des moulins, des transporteurs à toile, etc.

La construction en est solide.

ARTICLES DIVERS.

SOIES GAZES, OUTILLAGE, MARTEAUX.

L'exposition collective des fabricants zurichois de soies gazes, MM. Heiddeger et Cie, Hoffamann et Vollenveider, Holl et Preisig, Homberger frères, Pestalozzi, Reiff, était tout à fait remarquable. On y voyait réunis les échantillons les plus parfaits de leur fabrication qui étaient présentés au public avec beaucoup de goût.

MM. Favre et Martinod, de Pannissières, fabriquent un tissu dit *demi-zurich*, fort, solide, tamisant bien.

La fabrication de MM. Courrégé et Cie, de Blayan, est courante; il y a régularité dans les tissus.

MM. Millot, Baudot, de Paris, Follanfant, de Paris, vendent les soies aux meuniers et en font la pose dans les usines.

Ils vendent aussi le petit outillage très complexe des moulins, comme fabricants ou intermédiaires. Ce commerce a pris depuis quelques années une importance assez grande.

L'établissement Baudot, bien que modeste, doit être cité pour son origine ancienne; il date de près de deux siècles.

MM. Teissier d'Étrechy, Brochard de Pontoise, et Bary d'Étrechy, fabriquent des marteaux à rhabiller. Ce sont de bons ouvriers qui forgent eux-mêmes et trempent leurs marteaux. Il faut pour ce travail certain tour de main où l'ouvrier est plus ou moins habile. La fabrication de M. Teissier est bien soignée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONCLUSIONS.

Il ressort de l'examen des appareils de meunerie présentés dans la classe 50 à l'Exposition universelle de 1889 que toutes les nations qui se sont fait représenter à cette Exposition rivalisent pour arriver à la fabrication des meilleures farines.

Le mouvement, né en Hongrie, s'est étendu dans le monde entier et la blancheur comme la pureté des farines s'obtiennent aujourd'hui dans tous les pays civilisés.

La mouture à réductions multiples peut seule donner le maximum de blancheur et de qualité aux produits, et, parmi les divers systèmes d'appareils qui permettent de la pratiquer, les cylindres métalliques donnent les meilleurs résultats.

Par les meules en pierre on obtient des farines convenables, et le grand nombre de moulins à meules existants, améliorés, pourront encore donner satisfaction à leur clientèle, sans atteindre toutefois à la perfection.

L'humanité n'est pas près de s'éteindre et la question redoutable du rapport entre la population du globe et sa superficie se posera plus tard.

Cette population augmentant sans cesse, il faudra bien la nourrir; le pain, étant l'aliment qui se répand de plus en plus, devait être amélioré.

L'art de moudre le blé a fait un pas immense en avant et les peuples apprécient de mieux en mieux la bonne farine qui fait le bon pain.

Nous citerons, en terminant, une étude statistique sur les moulins en Angleterre, dont le nombre a singulièrement diminué depuis quarante ans, par suite du travail mécanique et automatique introduit dans la meunerie.

En 1852, pour 18 millions d'habitants, il y avait, dans le Royaume-Uni, 36,076 moulins; aujourd'hui, pour une population de 26 millions, il reste en activité 4,750 moulins, dont 750 à cylindres et 4,000 à meules.

Les moulins d'aujourd'hui produisent plus de farines que les anciens, mais le personnel ouvrier a diminué de moitié. La population ouvrière des moulins a donc dû, dans cette lutte pour la vie, manquant de travail, se dissoudre en partie et se disperser dans d'autres professions.

Les efforts vers le mieux que nous avons été heureux de constater dans les appareils de la classe 50 ne s'arrêteront pas et à la prochaine Exposition universelle la meunerie nouvelle apparaîtra plus élevée encore dans l'art de moudre, surtout avec l'aide des savants qui lui prêtent leur dévoué concours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA BOULANGERIE

RAPPORT

PAR

M. C. LUCAS

DIRECTEUR DES MARCHÉS DE BLÉ, ETC. ET DES FARINES DOUZE MARQUES DE PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE III.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE LA BOULANGERIE.

(PÉTRINS MÉCANIQUES ET FOURS.)

I. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

L'agriculture sème et récolte le blé. La meunerie le réduit en farine. A la boulangerie est réservée la mission de transformer la farine en pain.

Le pain est la nourriture par excellence de l'homme, celle qui est la plus complète et qu'il assimile avec le plus de facilité, celle enfin qui est la plus universellement répandue chez les nations civilisées.

Le pain tient la première place dans l'alimentation. Il en est la base et, contrairement aux autres aliments, qui, pour être bien accueillis par l'estomac, doivent être variés, c'est toujours sous la même forme qu'il intervient aux repas du pauvre et du riche; par sa composition, il pourrait à lui seul être regardé comme un aliment complet.

La fabrication du pain, dont l'origine remonte aux temps les plus reculés, n'a pendant longtemps été qu'une opération domestique; pendant longtemps le pain a été confectionné dans chaque ménage comme tous les autres aliments.

Tout d'abord composé uniquement de farine et d'eau, le pain était lourd et peu digestif. On y ajoutait bien quelques matières sucrées et alcoolisées pour le rendre plus léger et plus agréable au goût, mais, dans ces conditions, il devenait une nourriture de luxe seulement accessible au riche.

Ce ne fut que quand l'influence de la fermentation fut reconnue utile à la panification et que des fours spéciaux furent inventés que la fabrication du pain entra dans la voie des améliorations.

Au pain de pâte ferme ou de ménage fut substitué un autre pain plus léger et plus en rapport avec le goût des consommateurs.

Plus tard, enfin, l'introduction de la levure de bière dans la pâte amena l'invention des pains de luxe dans lesquels la farine ordinaire était remplacée par une farine provenant d'une mouture spéciale connue sous le nom de *farine de gruaux sassés*. Dans la confection de ces pains entraient aussi quelquefois des produits étrangers au blé tels que le lait, le beurre, les œufs, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quoi qu'il en soit, le pain ordinaire provenant de la farine fleur de froment de première qualité reste et demeurera toujours l'aliment par excellence.

Aussi est-ce sur le perfectionnement de la fabrication de ce genre de pain, restée stationnaire pendant si longtemps (deux siècles peut-être), que doit se porter l'attention de tous ceux qu'intéresse la question de l'utilisation alimentaire du grain de froment.

De la supériorité du pétrissage mécanique sur le pétrissage à bras.

Celui qui écrit ces lignes et qui, depuis vingt-six ans, s'occupe sans relâche de cette question, ne saurait, au début de son travail, s'empêcher d'exprimer le regret qu'il éprouve de voir la corporation si intéressante de la boulangerie rester insensible à toute tentative d'amélioration au point de vue du pétrissage.

Quelle contradiction! A la fin du XIX^e^ siècle, où la science et la mécanique ont fait accomplir à l'industrie tant de progrès, n'est-il pas regrettable, pénible même, de voir encore le malheureux ouvrier boulanger, courbé dans son pétrin, tout pantelant et ruisselant de sueur, pétrir, en employant toute sa force, une quantité de pâte dont le poids atteint quelquefois jusqu'à 300 kilogrammes et qui demande pour être bien *rendue* près d'une heure d'un travail surhumain.

Dans cette confection de la pâte, l'hygiène et la propreté sont méconnues, et l'esprit se révolte à la pensée que le pain de chaque jour est ainsi préparé.

Des savants illustres nous ont appris que l'introduction des germes de ferments dans l'organisation humaine est la cause initiale des maladies infectieuses et épidémiques; ils nous ont appris que, de tous nos tissus, la muqueuse du tube digestif est l'un de ceux qui présentent la plus faible résistance aux attaques des ferments, et qu'enfin les germes de quelques-uns de ces ferments résistent à la température de 100 degrés centigrades.

Or la mie de pain, qui, après la cuisson où elle ne dépasse pas cette température de 100 degrés, retient encore 45 p. 100 d'humidité, nous paraît offrir à ces infiniment petits les conditions nécessaires au développement de leur existence, tout en leur servant de véhicule pour les introduire dans l'estomac.

Le pétrissage mécanique, en faisant disparaître la fatigue meurtrière des ouvriers pétrisseurs, répond à tous les besoins de la fabrication et remplit toutes les conditions d'hygiène et de salubrité.

Il laisse bien loin derrière lui cette fabrication manuelle que la routine seule préconise et qui cependant, à notre époque, devrait avoir depuis longtemps déjà disparu.

Des divers moyens employés pour déterminer la fermentation dans la pâte.

De toutes les opérations qui tendent à faire de la farine une nourriture facilement assimilable, la panification est celle qui atteint le plus sûrement ce but.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cette opération, la fermentation remplit le rôle principal. Sous son influence les diverses substances qui composent la farine acquièrent les propriétés nécessaires à la panification.

C'est par la voie du levain que la fermentation est généralement déterminée dans la pâte. La préparation et l'entretien du levain constituent le travail le plus important du boulanger, car de sa réussite dépend en grande partie le résultat final. Ce travail, qui se fait de jour, nécessite une série d'opérations qui s'effectuent à diverses heures et consiste à maintenir en état de fermentation alcoolique, et à l'y ramener lorsqu'elle la dépasse, une quantité de pâte prélevée sur une fournée de la nuit précédente. A la suite de chacune de ces opérations successives le levain, auquel on donne le nom de levain de *première*, de *seconde* et de *tout point*, double de volume par l'addition de nouvelles quantités de farine et d'eau.

La levure de bière, ou mieux celle d'alcool, peut remplacer le levain de pâte, son action est plus rapide que celle du levain de pâte, mais elle a le grave défaut de produire une fermentation tumultueuse qui, en brisant les parois des cellules formées dans la pâte par le gluten, donne à la mie de pain une apparence mousseuse; celle-ci est alors formée de petites cellules, presque toutes régulières comme celles de la mie du pain à café.

La levure, comme ferment, est employée seule, surtout pour le pain destiné au café et à la soupe. Là, elle est tout à fait nécessaire pour rendre la mie du pain perméable au liquide dans lequel elle doit tremper.

Elle est aussi employée dans la confection des pains de luxe, mais d'une manière différente.

La méthode à laquelle nous donnons la préférence consiste à faire un levain composé en parties de pâte et de levure. Nous y trouvons de très grands avantages : tout d'abord celui de réduire de beaucoup le volume du levain par l'emploi judicieux de la levure, qui, dans ce cas, n'a pas l'inconvénient que nous avons signalé plus haut lorsque nous avons parlé de son emploi exclusif. On obtient par cette méthode une fermentation qui, tout en étant plus active, est aussi plus régulière et moins sujette à engendrer les fermentations acides ou visqueuses.

Nous employons cette méthode depuis nombre d'années en préparant un levain spécial pour chaque fournée de pain.

Le pain que nous obtenons est absolument franc de goût, sans aucune trace de cette acidité ou aigreur que l'on rencontre si souvent dans celui du commerce préparé exclusivement avec le levain de pâte. La blancheur par ce procédé est aussi plus grande.

Pour simplifier et faciliter encore ce travail, nous expérimentons depuis quelque temps un système nouveau. Ce système consiste, après avoir prélevé sur une fournée de pain une quantité de pâte destinée à faire fermenter une autre fournée de la nuit suivante, à introduire cette pâte dans un récipient absolument étanche; puis, au moyen d'une machine pneumatique, à faire le vide aussi complet que possible dans ce récipient.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous avons obtenu le plus grand succès par cette nouvelle méthode. Les pâtes se conservent admirablement, la fermentation n'y dépasse jamais la période alcoolique, car si le ferment de la levure, le *saccharomyces cerevisæ* qui la détermine, peut vivre et poursuivre son œuvre à l'abri de l'air, il n'en est pas de même des ferments acides ou autres, engendrés par ces derniers.

Nous avons conservé, sans aucun travail, des levains pendant une semaine entière, et lorsque nous les avons employés ils étaient dans d'excellentes conditions et produisirent un pain délicieux.

Nous continuons nos expériences qui jusqu'à présent n'ont porté que sur de petites quantités. Le but de nos recherches est d'arriver, tout en préservant la pâte de la fermentation acide, à supprimer complètement le travail des levains et à rendre à l'ouvrier qui en est chargé le repos qui lui est si nécessaire et dont il est privé par ce travail.

Du travail de la pâte. — La confection des pâtes, qu'il s'agisse de levain ou de pâte à pain, qu'elle soit faite à bras d'homme ou mécaniquement, comprend plusieurs phases auxquelles sont donnés les noms suivants :

Délayage. — Mélange ou plutôt dissolution du levain dans l'eau (on ajoute à cette dissolution une petite quantité de sel destinée à relever le goût, mais dans les fournées seulement).

Frasage. — Introduction de la farine dans l'eau chargée du levain pour en opérer le mélange.

Contre-frasage. — Travail consistant à rendre la pâte tout à fait homogène.

Découpage et soufflage. — Opérations destinées à donner de l'élasticité à la pâte tout en l'aérant.

Pâtonnage. — Division de la pâte en pâtons pour la mettre en tas dans un compartiment ménagé dans un coin du pétrin, auquel on donne le nom de *fontaine*.

Le travail de ces différentes phases est modifié selon qu'il s'agit du levain ou de la pâte à pain; il l'est aussi selon l'état de la fermentation, la nature de la farine employée, la température ou d'autres causes.

Pour les fournées, la pâte, après avoir été pétrie et déposée dans la *fontaine*, est abandonnée au repos pendant quelques instants pour faciliter la remise en mouvement de sa fermentation. Ce temps de repos s'appelle *pointage*.

Pour le levain, le temps de repos ou apprêt dure jusqu'au moment où la pâte approche de la dernière période de fermentation alcoolique.

La dernière opération consiste à diviser la pâte et à donner à chacune de ses parties le poids et la forme qu'elle doit avoir à l'état de pain.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Après cette dernière opération, les pains de pâte sont placés dans des bannetons. Ceux-ci sont réunis, empilés et recouverts. On abandonne alors le tout pendant le temps nécessaire à l'apprêt des pâtes, pour lequel on observe à peu près la même règle que pour celui du levain; enfin on procède à l'enfournement.

II. PÉTRINS MÉCANIQUES.

État de la question avant l'Exposition universelle de 1889.

Ce fut en Italie et en Espagne que prit naissance l'idée de remplacer les bras de l'homme par un mécanisme utilement approprié au pétrissage de la pâte.

En France, après quelques essais tentés sans beaucoup de succès, vers le milieu du XVIII[e] siècle, par Salignac d'abord, puis par Cousin, le premier pétrin mécanique sérieux fut construit par Lambert au commencement de ce siècle. Il se composait d'une caisse rectangulaire ayant quelque analogie avec les pétrins ordinaires, mais fermée hermétiquement. Cet instrument, appelé *Lambertine,* avait de grands défauts. Sa fermeture hermétique, rendue nécessaire à cause du mouvement qu'effectuait la caisse autour d'un axe horizontal, s'opposait à la circulation de l'air indispensable cependant à la fermentation. Il remplissait, du reste, plutôt les fonctions de mélangeur que celles de pétrisseur.

En cet état la *Lambertine* ne donnait qu'un résultat bien inférieur à celui obtenu par les bras de l'homme.

Toutefois, modifiée plus tard par Fontaine, Hébert, les frères Moussot et autres qui lui adjoignirent des agitateurs fixes afin d'améliorer l'opération du pétrissage, elle rendit des services.

D'autres praticiens parmi lesquels figurent les noms de Noverre, Maugeret, Lasgorsaix, etc., renversèrent les dispositions de la Lambertine en rendant fixe la cuve qui était mobile et mobiles les agitateurs qui étaient fixes.

Le pétrin Moret, formé de deux demi-cylindres reliés ensemble, peut encore être considéré comme une modification de la Lambertine.

Malgré toutes ces transformations, ce genre de pétrin dut être abandonné, car il ne donna jamais qu'un résultat incomplet et non comparable à celui obtenu directement par le travail de l'homme.

Il est supposable même que c'est de ces insuccès que naquirent la défiance et la répulsion des boulangers pour le pétrissage mécanique.

Quoi qu'il en soit, l'élan était donné et l'on vit successivement paraître nombre de pétrins mécaniques pourvus de perfectionnements.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ceux de Mareille et Rousseau et aussi celui de Sezille comprenaient une caisse rectangulaire fixe. Dans celle des premiers la pâte était jetée sur des tringles pour être divisée et étirée, et dans celle du second, la pâte était travaillée au moyen de deux cylindres lamineurs et d'un pétrisseur muni de quatre ailes dont deux se repliaient suivant le besoin.

Puis l'Exposition de 1867 nous montra les pétrins de Boland, Coveley, Caron, Strauh, Lenoir, Dubois, Roland, Lesobre, Deliry, Drouot, etc.

Excepté ceux de Deliry et de Drouot, tous sont à cuve fixe, rectangulaire, demi-cylindrique ou demi-sphérique avec pétrisseurs mobiles à courbures hélicoïdales pour la plupart.

Ces pétrins commencèrent à donner de bons résultats.

Celui de Boland fut employé à la boulangerie des hospices civils de Paris (place Scipion) pendant de longues années.

Cependant un inconvénient grave subsiste dans l'emploi de ces derniers appareils. Nous voulons parler du mouvement incessant donné, par leur emploi, à la pâte pendant tout le temps du pétrissage, lorsqu'il est exécuté sans arrêt. La pâte au contraire a besoin pendant cette opération d'un repos intermittent qui permette aux principes fermentescibles qu'elle renferme de reprendre leur vie, momentanément suspendue par le travail.

Celui qui a été imaginé par Deliry-Desboves, ancien boulanger à Soissons, et dont celui de Drouot n'est qu'une variante, comprend une cuve en fonte qui repose par trois galets sur un bâti et tourne autour d'un arbre vertical.

Ce pétrin, qui, par sa disposition, permet à l'opérateur de travailler la pâte à son gré, n'a pas l'inconvénient signalé plus haut.

Le pétrin Deliry était employé dans la boulangerie Plouin et Vaury installée à l'Exposition universelle de 1867, et celui de Drouot dans la boulangerie Lebaudy.

Nous rappellerons aussi que les principaux pétrins mécaniques exposés en 1878 et jugés supérieurs étaient les pétrins à cuves tournantes de Deliry-Desboves et de Drouot, ce dernier construit alors par Lebaudy.

Puis venaient les pétrins de Boucheron et Mazière dont les organes dérivent de celui de Deliry, le pétrin Roland à cuve mobile et demi-sphérique, modifié par Lesobre, et le pétrin Mahot à cuve en bois, genre Boland, avec pétrisseurs se relevant et pouvant changer de vitesse, enfin le pétrin Lecart qui se rapproche de la Lambertine.

A l'Exposition de meunerie-boulangerie, en 1885, où nous avons rempli les fonctions de vice-président rapporteur pour la section de boulangerie-pâtisserie, ce fut encore le pétrin Deliry qui eut la préférence du jury comme réunissant dans son ensemble les meilleures conditions de pétrissage.

A cette Exposition, une nouveauté que nous avons été heureux de signaler a frappé notre attention. C'est un pétrin exposé par M. Purel. Ce pétrin en bois de forme prismatique repose sur châssis manœuvrant sur des rails disposés à cet effet. Il comporte

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une machine à pétrir verticale fixe consolidée d'un côté par un pied en fonte et appuyant sa face opposée au mur. Cette machine est munie de deux lames pour opérer le pétrissage; ces lames sont distribuées de telle sorte que l'une d'elles effleure constamment les bords du pétrin sur toute sa hauteur et se trouve elle-même effleurée par l'autre, qui tourne en sens inverse. Leur disposition et leur degré de vitesse relative permettent d'effectuer un travail absolument complet du moins en ce qui regarde le frasage.

Si au fraseur décrit ci-dessus était adjoint un pétrisseur de même valeur, ce pétrin mécanique laisserait derrière lui tous les systèmes connus jusqu'alors.

Dans le pétrin Durvie, le montage très simple permet de donner différentes vitesses aux pétrisseurs. Le mécanisme présente une grande facilité de mise en mouvement, par l'emploi de coussinets à sphères.

Un constructeur de Londres, M. Pfleiderer, avait, en 1885, exposé un pétrin d'une solidité remarquable. Ce pétrin à cuve demi-cylindrique peut être employé pour la fabrication des pains et biscuits.

Depuis cette époque, de nouveaux progrès ont été réalisés dans la construction des pétrins mécaniques et dans la disposition de leurs appareils de pétrissage. Nous les retrouverons dans ceux que nous avons eu la mission d'examiner à l'Exposition de 1889 et que nous allons passer en revue.

Les pétrins mécaniques à l'Exposition universelle de 1889.

Nous plaçons toujours en première ligne le pétrin Deliry-Desboves, dont l'origine remonte à 1854. Bien que nous le retrouvions à toutes les Expositions tel qu'il a été inventé primitivement par M. Deliry père, c'est toujours celui qui, par son ensemble, est le plus complet. Il présente une très grande résistance à la fatigue, ce qui, pour les manutentions, est un avantage qui contribue à le faire rechercher.

Nous en rappelons la description. Sa cuve est circulaire et en fonte, elle tourne autour d'un axe vertical. L'intérieur est muni : 1° d'un pétrisseur en forme de lyre qui sert à fraser et découper la pâte; 2° de deux autres pétrisseurs de forme hélicoïdale qui, eux, servent à souffler et allonger la pâte en tous sens, partie par partie, ainsi que cela a lieu dans le pétrissage à bras. Un coupe-pâte y est fixé de façon que le pétrin se nettoie continuellement et de lui-même.

Le pétrin Deliry-Desboves a été adopté depuis longtemps déjà dans les grandes manutentions civiles et militaires où il donne d'excellents résultats.

Depuis plus de vingt ans que nous nous en servons nous-même sous forme réduite, de façon à ne pétrir que 3 à 4 kilogrammes de pâte à la fois, pour la préparation des expertises du marché de Paris, nous en avons toujours eu grande satisfaction.

Trente-deux de ces petits pétrins fonctionnent actuellement, actionnés par un moteur à gaz, dans notre laboratoire-boulangerie du marché des farines douze marques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le pétrin mécanique exposé par MM. E. et J. Hallot et Cie, de Bruxelles, se compose d'une cuve fixe, en fonte, dans laquelle se meuvent un fraseur animé d'un mouvement rotatif autour de son axe et d'un mouvement circulaire autour du centre de la cuve; de deux pétrisseurs qui se relèvent et s'abaissent alternativement en tournant aussi autour du centre de la cuve.

La fixité de la cuve épargne une grande dépense de force motrice.

Ce pétrin a beaucoup de ressemblance avec celui de Deliry-Desboves, mais nous préférons cependant la disposition de ce dernier.

Le pétrin de M. Lotz, de Nantes, est aussi une variante du pétrin Deliry. La différence entre ces deux pétrins consiste en ce que la cuve du premier est en bois au lieu d'être en fonte. Il ne comporte qu'un seul organe sur lequel repose tout le travail : c'est un fraseur en tout semblable à celui du pétrin Deliry. Ce pétrin, très simple, très léger, mais très incomplet, est employé dans quelques exploitations agricoles.

Le pétrin de M. Dagry nous a rappelé celui de M. Purel que nous avons eu à examiner à l'Exposition de meunerie-boulangerie de 1885. Comme ce dernier, il est en bois et de forme prismatique, mais fixe au lieu d'être mobile. C'est aux instruments de pétrissage qu'est donné le mouvement de translation, dont le déclenchement, pour le va-et-vient, se fait de lui-même, à chaque extrémité du pétrin, au moyen d'une butée. Il comporte en plus un pétrisseur semblable à celui du pétrin Deliry.

Ce nouveau mécanisme de pétrissage frase et souffle d'une manière alternative et peut aussi s'adapter sur les pétrins ordinaires employés dans la boulangerie. Il est d'un maniement très facile, prenant peu de place, ce qui est très important pour la boulangerie de Paris. Il se compose essentiellement des deux parties suivantes : 1° d'un fraseur composé de quatre lames à surface gauche pivotant sur deux axes et animé d'un mouvement de rotation disposé de façon que les branches se trouvent toujours entrecroisées, ce qui a pour but de fournir un mélange parfaitement homogène.

Le frasage terminé, l'appareil bascule horizontalement et reste fixé dans cette position par un verrou, pour faciliter le nettoyage des lames.

En continuant le mouvement de bascule, le fraseur se trouve remplacé par le souffleur-pétrisseur qui termine le travail.

Le pétrissage terminé, l'appareil est replacé dans la position horizontale, puis, à l'aide de deux rails placés sur le pétrin, roulé à l'une des extrémités de ce dernier pour permettre de rabattre le tour ou couvercle qui peut alors servir comme dans le travail ordinaire.

La construction du mécanisme est le résultat d'un travail des plus soignés. M. Dagry a fait de son pétrin un instrument sérieux et à la portée de tous.

Le pétrin de MM. Havet-Delattre est composé d'une cuve en bois de forme demi-cylin-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

drique montée sur pieds en fonte. Son pétrisseur, mobile autour d'un axe horizontal, se déplace dans le sens de la longueur du pétrin, au fur et à mesure du travail. Il y a dans ce déplacement une très bonne idée, mais le mécanisme semble lourd et ce système demande à être perfectionné.

Le pétrin de M. Durvie, dont il a déjà été question, se compose d'une cuve en bois demi-cylindrique dans laquelle tourne l'organe pétrisseur, formé d'un axe horizontal, traversé par des bandes méplates en fer, formant un double peigne concave. Les bandes ou dents, qui se terminent en pointes d'un côté et en palettes de l'autre, sont disposées de manière qu'une palette se trouve entre deux pointes. Le montage permet de donner différentes vitesses au pétrisseur selon les besoins du travail. Par l'emploi des coussinets à sphères dont nous avons déjà parlé, M. Durvie obtient une transmission de mouvement d'une très grande douceur, c'est là la partie la plus intéressante de son appareil.

Le pétrin de M. Mahot, de Ham, a quelque ressemblance, comme forme, avec le précédent. Son pétrisseur se relève à volonté pour faciliter le nettoyage. La vitesse du mouvement peut être variée à volonté.

M. A. Ligné a exposé un appareil de pétrissage pouvant s'adapter à tous les pétrins ordinairement employés en boulangerie. Il se compose d'un arbre pétrisseur à aile à mouvement lent de va-et-vient pour fraser et souffler la pâte. C'est un appareil simple et peu coûteux.

Le pétrin de M. Dathis est un appareil très ingénieusement monté et digne de fixer l'attention. Il se compose d'un récipient tournant autour d'un axe de manière à présenter toutes les parties de la pâte qu'il renferme à l'action d'instruments pétrisseurs. Ces instruments, qui ont la forme d'une fourchette, soulèvent constamment la pâte, l'étirent, l'aèrent et la soufflent sans jamais la fouler. Ils sont fixés à l'extrémité de leviers, au moyen de vis de réglage. Le mouvement est communiqué aux leviers par des manivelles montées sur un arbre. Cet arbre est actionné soit à bras, soit au moyen d'un moteur.

Ces instruments de pétrissage représentent un véritable progrès, leur disposition et surtout le mouvement qui leur a été assigné sont des plus ingénieux. La cuve est à double fond; on peut dans la saison froide y introduire de l'eau tiède pour faciliter la fermentation. Cette cuve est étamée, il en est de même des pétrisseurs. C'est le pétrin dans lequel le nettoyage et l'entretien de la propreté se font avec le plus de facilité. Les différentes pièces qui composent cet appareil ainsi que celles qui déterminent son mouvement forment un ensemble qui repose sur un bâti en fonte.

Nous avons eu l'occasion de voir fonctionner cet appareil dans la boulangerie dénommée : *Panification nouvelle de Paris*, située avenue de l'Opéra, et de l'essayer même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans notre laboratoire-boulangerie des farines douze marques. Nous ne l'avons pas trouvé très bien approprié pour le travail des levains, mais, en revanche, nous avons remarqué, avec la plus grande satisfaction, que le pétrissage s'y faisait d'une façon remarquable et que les pâtes qu'il produisait étaient non seulement très bien rendues, mais aussi les plus sèches que nous ayons jamais rencontrées.

Pour le pétrin de MM. Werner et Pfleiderer, nous ne pouvons que répéter ce que nous avons dit de lui à propos de l'Exposition de 1885. C'est un instrument qui ne craint pas la fatigue et qui peut être employé avec avantage dans la fabrication du biscuit et des pâtes fermes.

III. FOURS DE BOULANGERIE.

État de la question avant l'Exposition de 1889.

Les Orientaux, dans l'état primitif de la préparation du pain, se servaient pour le cuire de l'âtre du foyer où ils disposaient leur pâte en la recouvrant de cendres chaudes. Comme par ce procédé l'aspect du pain n'était pas très appétissant, ils employèrent plus tard pour le cuire divers ustensiles rappelant un peu les grils et les poêles de nos cuisinières. Puis ils inventèrent de petits fours portatifs pour la construction desquels ils commencèrent à se servir de briques.

A l'Occident les peuples n'étaient pas plus avancés; l'usage des fours y fut très longtemps inconnu. C'était aussi sur l'âtre du foyer que se faisait la cuisson du pain.

La première amélioration qui y fut apportée consistait à placer la pâte entre deux plaques de métal ou de terre pour la garantir du contact des cendres chaudes qui l'entouraient de toutes parts.

C'est à Rome, 500 ans avant notre ère, que paraissent avoir été construits les premiers fours de boulangerie. Les fours primitifs se composaient d'une sole plate, recouverte d'une voûte assez élevée et reposant sur des pieds droits. Une porte y était établie sur le devant pour servir à l'introduction du bois qui était le seul combustible employé.

La fumée n'avait d'autre issue que la porte pour se rendre dans une cheminée placée en avant, près de cette porte et au-dessus de la partie appelée autel. C'était aussi par cette porte que se faisaient l'enfournement et le défournement du pain. Le soubassement de ces fours était, comme ceux d'aujourd'hui, formé d'une voûte ou arcade pour emmagasiner le bois.

Bien des améliorations furent apportées avec le temps. Pour faciliter le tirage et régulariser la chaleur, on a établi dans le fond du four plusieurs ouvertures munies de conduits appelés *ouras*. La fumée, pour se rendre dans la cheminée, suit cette voie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nouvelle, en passant sur la voûte du four. Les ouras sont munis de fermetures hermétiques de différents systèmes ayant tous pour objet de ne laisser échapper ni chaleur ni buée.

De même, on a diminué la hauteur de la voûte ou *chapelle* et on lui a donné la forme ovoïde pour faciliter le rayonnement de la chaleur.

La porte a été remplacée par une bouche dans l'ouverture de laquelle est ajusté avec soin un *bouchoir* ou plaque de fonte de façon à retenir la chaleur et aussi la vapeur d'eau qui provient du pain et tend à s'échapper du four, cette vapeur étant de la plus grande utilité pour la finesse et la coloration de la croûte du pain.

A l'éclairage obtenu par *l'allume* ou morceau de bois sec, on substitua celui obtenu par divers modèles de lampes et enfin l'éclairage au gaz.

On a placé dans le four des appareils à buée, sorte de boîtes en métal d'abord mobiles et remplies d'eau que l'on a remplacées plus tard par des boîtes en fonte désignées sous le nom de *pavés de vapeur* ou d'*appareils à buée*. Ces boîtes sont fixées à demeure dans le four et chauffées en même temps que lui.

Après l'enfournement, si l'opérateur juge à propos de répandre sur le pain une plus grande quantité de buée que celle fournie par ce dernier, il le peut, au moyen d'un robinet placé sur un conduit d'eau qui aboutit au pavé de vapeur. Vu la température de la fonte, la petite quantité d'eau projetée sur elle se vaporise immédiatement pour retomber sur le pain et lui donner une croûte plus fine et plus agréable non seulement à l'œil, mais encore au goût.

Parmi les constructeurs qui ont le plus contribué à l'amélioration des fours ordinaires chauffés au bois, il convient de citer MM. Jomeau, Vibert, Biabaud et Lespinasse. Ce dernier a construit un four à circulation d'air chaud qui a été employé dans les manutentions militaires.

Puis vinrent les fours aérothermes où le chauffage continu ne se fait plus sur l'âtre, mais dans un foyer indépendant qui permet l'emploi de la houille et du coke.

Les principaux ont été construits par MM. Lamarre et Jamtel, Grouvelle et Mouchot, Carville. M. Covelet y a disposé quatre âtres mobiles formant étages et M. Roland a rendu la sole tournante.

M. Lespinasse en France et M. Perkins en Angleterre furent des premiers à construire des fours de campagne.

L'Exposition de 1867 nous fit voir en fonction, dans la boulangerie Plouin et Vaury, deux fours au bois, l'un de M. Vibert, l'autre de M. Biabaud, un four à sole tournante de M. Roland et un four à vapeur de M. Joly de Marval.

Dans la section française se trouvaient encore deux fours accouplés construits par MM. Grouvelle et Mouchot et disposés pour la cuisson du pain viennois.

Dans la section autrichienne nous avons remarqué un four aérotherme dont la construction, à cette époque, constituait une nouveauté.

A l'Exposition de 1878, dans l'établissement de meunerie-boulangerie monté par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Touflin, le concessionnaire des broyeurs à farine Carr, nous avons retrouvé en fonction le four au bois de M. Biabaud muni de nouveaux appareils à buée. Les autres fours au bois exposés alors étaient ceux de MM. Vibert, Moussot, Lamoureux et Mansiot.

Le four Roland, exposé par M. Lesobre, comportait diverses améliorations apportées par ce dernier. Enfin MM. Geneste, Herscher et Cie avaient exposé une voiture-four de campagne, présentant, sur les fours Lespinasse et Perkins, de grands avantages.

A l'Exposition de meunerie-boulangerie de 1885, nous avons vu apparaître les nouveaux fours mixtes dans lesquels le combustible employé est la houille ou le coke et dont le système consiste à localiser le feu dans un foyer indépendant, tout en faisant passer les produits de la combustion dans l'intérieur même du four. A la simplification du travail ces fours joignent la plus grande économie de chauffage.

Deux de ces fours de genres différents étaient construits, l'un par M. Biabaud, l'autre par M. Lamoureux.

Un four au bois, de construction perfectionnée, établi dans la boulangerie Machin, était de M. Bonvalet. Les autres fours au bois exposés étaient de MM. Marquis, Mousseau père, Coustains, James, etc.

Deux fours aérothermes avaient été construits par M. Chovenot et M. Schuijt, de Rotterdam. Celui qu'exposait ce dernier était, en entier, métallique, à deux étages et à vapeur surchauffée avec soles mobiles pouvant être ramenées en avant pour y déposer les pâtes et retirer le pain après la cuisson.

Le four à foyer à étages de M. Michel Perret pour la consommation des combustibles économiques mérite aussi d'être cité.

Des fours de boulangerie à l'Exposition universelle de 1889.

Dans la boulangerie-pâtisserie installée par la maison Hédé, nous avons vu fonctionner deux fours, l'un de système ordinaire chauffé au bois et l'autre du système mixte chauffé au coke, construits tous deux par MM. Biabaud et fils. Le four chauffé au bois était d'une construction perfectionnée, mais comme ce four est très connu, il nous paraît inutile d'en faire la description.

Il n'en est pas de même du nouveau four mixte à charbon ou coke. Le foyer de ce dernier est placé au milieu de la façade sous la bouche dans l'emplacement occupé par l'arcade dans les fours au bois.

Deux conduits partant du fond de ce foyer montent se jeter dans le four à droite et à gauche de la bouche. La chaleur est ainsi introduite directement par les produits de la combustion. Pour la répartir régulièrement, cinq *ouras* d'appel sont placés dans le four, deux sur les côtés vers le fond et trois dans le four même.

Ces cinq ouras renversent le tirage pour faire passer la chaleur sous le carrelage, qui se trouvant ainsi entouré atteint rapidement la température convenable pour fournir au pain un âtre suffisamment chaud pour son développement et sa cuisson.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces cinq conduits sont disposés en éventail et viennent déboucher dans une chambre de chaleur d'où partent d'autres conduits qui se dirigent, l'un à droite, l'autre à gauche du four vers le bas de la façade pour monter ensuite verticalement et en atteindre la partie supérieure.

Ces deux conduits, qui se couchent sur le four et le longent dans toute sa profondeur, forment fer à cheval en se réunissant au fond dans une deuxième chambre de chaleur.

De cette deuxième chambre, la chaleur est encore ramenée sur le devant du four par trois conduits qui passent sur la *chapelle* pour se rendre définitivement dans la cheminée.

Les deux conduits verticaux de la façade sont munis chacun d'un gros oura que l'on ferme lorsque le chauffage est terminé pour prévenir toute déperdition de chaleur et de buée.

Lorsque le four a atteint la température nécessaire à la cuisson du pain, ce qui est très exactement indiqué par un pyromètre, à base de mica, inventé par M. Damaze, les deux conduits qui y amènent directement la chaleur sont hermétiquement fermés, chacun au moyen d'un double registre. Le four à ce moment se trouve complètement isolé du foyer et le tirage supprimé.

Comme dans ces conditions, le combustible s'éteindrait en répandant des gaz désagréables et nuisibles dans le fournil et causerait un retard dans le travail par suite du temps nécessaire pour le rallumer, il est établi un simple conduit, qui, partant du fond du foyer, se rend directement à la cheminée. Un oura sert à ouvrir ou fermer ce conduit suivant le besoin.

Par ce moyen, le fournil et le four sont à l'abri de toute émanation nuisible pendant la cuisson du pain.

Le pyromètre Damaze est un instrument d'une précision remarquable. La première application en a été faite sur les fours de la boulangerie des farines douze marques, et il devient le régulateur indispensable des fours mixtes et aérothermes.

Pour éviter dans le fournil une quantité de chaleur inutile et gênante, le four a une deuxième façade distante de $0^{m}08$ de la première. Une ouverture ménagée au bas permet à l'air froid de traverser ce vide, pour, après en avoir chassé l'air chaud, pénétrer directement dans la cheminée. Une porte en tôle à double paroi et garnie de sable est disposée de façon à garantir l'ouvrier pendant l'enfournement et le défournement.

Deux appareils à buée sont placés au-dessus de chacun des conduits qui sortent directement du foyer. Une canalisation spéciale permet d'envoyer de l'eau à volonté dans ces deux appareils.

Ce four présente de très grands avantages. Il est très économique, très facile à chauffer et son emploi ne demande aucun apprentissage.

La chaleur également répartie dans la masse a pour résultat de donner une cuisson absolument régulière, quelle que soit la place occupée par le pain.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous apprécions d'autant mieux ce four, que, depuis 1884, il fonctionne dans notre boulangerie d'essais pour la préparation des expertises de farines.

C'est là qu'il a été construit pour la première fois et que le constructeur, guidé par nos conseils, y a apporté par des démolitions et reconstructions successives tous les perfectionnements qui en font aujourd'hui un instrument pratique supérieur aux fours chauffés avec le bois. En ce moment nous étudions une lampe électrique qui, placée au centre même du four, à la partie inférieure de la *chapelle,* est appelée à donner un éclairage permettant de suivre la cuisson du pain, sans ouvrir le four, au moyen d'un *regard* ménagé dans le bouchoir et fermé par une feuille de mica.

Nous préférons, pour le chauffage, l'emploi du coke à celui de la houille; le premier ne donnant pas de fumée, le four reste toujours propre.

M. Lamoureux a exposé deux fours mixtes, l'un à sole fixe pour le pain et l'autre à sole tournante pour le biscuit. Le four à sole tournante fonctionnait dans la biscuiterie de M. Augras, de Châteauroux. A part le mécanisme de la sole tournante, il est d'une construction simple. Il est chauffé à la houille, mais il peut l'être aussi par tout autre combustible. Il constitue un perfectionnement du four Lespinasse qu'il a remplacé dans plusieurs forts et manutentions militaires.

Dans les fours Lamoureux, le foyer est placé sur la droite de la façade, la chaleur ainsi que les produits de la combustion entrent dans le four par une ouverture réservée dans la sole tout près de la bouche et sont conduits directement à la cheminée par plusieurs ouras répartis dans le fond. La dépense en combustible est aussi très minime comparativement à celle des fours au bois.

M. Bonvalet a exposé trois façades de fours : une de four français, une de four de pâtisserie à deux étages et chauffage indépendant et une façade de four viennois à chauffage mixte.

Le four de pâtisserie à deux étages est une invention de l'exposant.

Dans la boulangerie installée par la Société des Bouillons Duval, nous avons vu fonctionner cinq fours au bois construits par M. Bonvalet et aussi un four aérotherme à chauffage continu, inventé par ce constructeur. Ce four, muni d'une sole tournante, peut être employé pour la fabrication du biscuit militaire.

Un four aérotherme de M. Godin et C^ie^, de Guise (Aisne), fonctionnait dans la boulangerie installée par cette Compagnie.

La disposition particulière de ce four permet de le chauffer dessous et dans l'intérieur avec de l'air chaud et de chauffer le pourtour et le dessus avec les gaz de la combustion. La sole est en carreaux réfractaires et la voûte ou chapelle est en tôle. Ce four est muni d'un appareil à buée et d'un thermomètre.

Le four de M. Datnis est surtout un instrument précieux pour laboratoires, maisons particulières, châteaux, fermes, etc. Il est aussi employé avec grand avantage dans la fabrication du pain de luxe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous en donnons la description complète.

Il se compose de trois parties :

1° La partie inférieure formant socle et comprenant le foyer et la cheminée ;

2° Le four proprement dit ;

3° Le couvercle avec son mécanisme d'enlevage.

La partie inférieure est portée par quatre pieds en fer pour les fours dont le diamètre ne dépasse pas 1 mètre et par quatre colonnes en fonte pour ceux au-dessus de cette dimension.

Cette partie est formée d'un fond circulaire en plaques réfractaires disposées sur une plaque de tôle. Ce fond porte une bordure cylindrique à double paroi, composée de plaques réfractaires et de plaques céramiques assemblées par un fer cornière, ou de plaques réfractaires entourées d'une enveloppe de tôle ou encore de deux enveloppes métalliques renfermant une couche d'un isolant quelconque : sable, charbon, etc.

Le foyer se trouve en avant du centre de ce fond circulaire et au-dessous de lui ; il se compose d'un autel, d'une voûte réfractaire avec *carneaux* latéraux et d'une grille ordinaire, horizontale avec cendrier.

Le four proprement dit vient s'appliquer sur cette partie inférieure ; il est formé par un cylindre en tôle fermé à la base par une lentille métallique. Sous cette lentille vient s'installer un volant de chaleur formé par un *coup de feu* convexe en terre réfractaire qui reçoit directement, à deux centimètres, la chaleur du foyer. La disposition du foyer est telle que la flamme est obligée de former une double couronne embrassant toute la surface du coup de feu.

Les gaz chauds s'échappent par la cheminée en suivant un conduit spécial.

Au-dessus de la lentille métallique, est disposé un diaphragme creux, ouvert en son milieu et destiné à répartir la chaleur dans toute la masse du four.

Un godet muni d'un tuyau permet d'introduire de l'eau dans une cuvette en tôle placée sur trois pieds reposant sur la lentille métallique du fond du four.

Au-dessous du diaphragme est établi le plateau supérieur formé d'une tôle concave et d'une tôle plane renfermant entre elles une couche d'air ayant pour but d'égaliser la chaleur sur toute la surface de la paroi et d'opposer au passage de cette chaleur une résistance plus ou moins forte selon que l'espace entre les deux parties est plus ou moins grand. Cet arrangement permet d'établir l'équilibre entre la chaleur directe et la chaleur réverbérée.

Au-dessus de la paroi plane vient se placer une claie métallique destinée à recevoir les pains. Cette claie repose sur des galets fixés à la tôle.

L'emploi de cette claie permet de faire l'enfournement et le défournement en une seule fois ; elle permet aussi à la buée d'atteindre le dessous du pain et, enfin, elle supprime le fleurage.

Le pain, étant isolé de la sole du four, ne se souille pas des impuretés qui peuvent y rester lorsqu'elle est nettoyée d'une manière imparfaite.

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le couvercle en tôle a la forme d'une calotte ellipsoïdale aplatie ; il est muni de poignées et garni sur toute sa surface extérieure d'une enveloppe isolante. Il a pour effet de réfléchir la chaleur sur toute la surface extérieure des pains. Ce couvercle se soulève et s'abaisse au moyen d'un balancier à contrepoids équilibré par une colonne.

Des regards en verre sont établis sur le couvercle pour surveiller la cuisson du pain.

On peut aussi y poser une lampe électrique pour éclairer l'intérieur du four. Un thermomètre y est fixé.

Pour les petits fours, la manœuvre de la claie se fait à la main. Pour les autres, on emploie une table tournante sur laquelle se place la claie, tenue au centre à l'aide d'un crochet. Après que tous les pains ont été disposés sur la claie, celle-ci est amenée dans le four au moyen d'un appareil d'enlevage à charnières, terminé par un anneau qui l'accroche. Le défournement se fait de la même façon.

Nous avons expérimenté nous-même ce four, mais alors il ne se construisait encore que dans des dimensions moyennes. Nous en avons obtenu dans ces conditions de très bons résultats. Depuis cette époque, de grandes modifications y ont été apportées. La dimension en a été portée jusqu'à 2 mètres de diamètre. Ce four n'exige pas l'emploi d'ouvriers spéciaux.

Un matériel pour la boulangerie militaire en campagne a été exposé par la Société Geneste, Hercher et Somasco. Il se compose principalement :

1° D'un chariot-fournil pour le transport du personnel et du matériel permettant la fabrication des levains pendant la marche ;

2° D'un four locomobile produisant 2,500 rations de pain par jour ;

3° D'un four démontable, transportable à dos de mulet, produisant 1,200 rations de pain par jour ;

4° D'un four à augets, transportable à dos d'homme, à dos de mulet ou sur les voitures de l'armée, produisant aussi 1,200 rations de pain par jour ;

5° D'une caisse étagère pliante pour le ressuage et le transport des pains, etc.

Tout ce matériel, dont la construction a été l'objet des plus grands soins, dépasse en perfection ce que nous avons vu construire jusqu'à ce jour dans le même but.

Il est du reste adopté par l'administration militaire française.

Nous avons vu aussi quelques fours dans les sections étrangères.

Un four aérotherme fonctionnait dans la boulangerie hollandaise. Ce four n'ayant rien de particulier, nous ne jugeons pas à propos de nous y arrêter.

Dans la boulangerie-pâtisserie anglaise de Baker, nous avons examiné deux fours mixtes chauffés à la houille, rappelant un peu le système de celui de M. Biabaud. Ces fours, qui comportaient tous les accessoires nécessaires, étaient parfaitement construits. Ils servaient plus spécialement à la cuisson des biscuits, pâtisseries et pains de luxe, et donnaient, au point de vue de la cuisson, de très bons résultats.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV. CONCLUSION.

L'Exposition de 1889 a montré que de notables progrès avaient été accomplis dans la construction et la disposition des instruments de boulangerie. Pour mieux en faire ressortir l'importance, il nous a semblé utile de tracer à grands traits, selon les documents que nous avons pu nous procurer, l'historique très abrégé de tout ce qui s'est fait concernant la fabrication du pain. N'ayant pu en trouver l'origine, nous avons remonté jusqu'aux époques où cette fabrication se trouvait encore dans l'enfance.

Nous avons vu le pain, fait d'un mélange de farine et d'eau, cuit sous les cendres du foyer; puis nous avons rencontré la production du pain levé, préparé au moyen de pâtes en fermentation; puis encore l'emploi de véritables levains. Plus tard, nous avons vu utiliser d'abord les propriétés de la levure de bière et enfin, de notre temps, celles de la levure d'alcool, d'une couleur plus blanche, d'un goût plus agréable et surtout d'une régularité plus grande. Nous avons recherché aussi l'origine des fours et suivi leurs perfectionnements successifs.

Mais dans cette revue rétrospective, nous avons vu aussi la boulangerie s'arrêter court dans la voie du progrès comme devant une barrière infranchissable. Nous avons montré tous les inconvénients et même les dangers du travail fait par les bras de l'homme.

Puis nous avons passé successivement en revue les nombreux pétrins mécaniques, qui, tous, à quelques exceptions près, peuvent, étant habilement dirigés, remplacer l'homme avec avantage; ce qui ne veut pas dire cependant que tous aient la même valeur. Il y a, en effet, parmi les pétrins mécaniques un choix à faire; et le nôtre se portera toujours sur ceux qui, pourvus de bons appareils de frasage et de pétrissage, ne travaillent la pâte que partie par partie pour lui permettre de se reposer et de conserver ainsi l'activité de son ferment.

Nous attendons encore beaucoup de l'intelligence de nos constructeurs de pétrins mécaniques. Bien que nous ayons constaté, dans plusieurs des pétrins exposés, des progrès importants, notamment dans la plupart de ceux dont nous avons donné la description complète, nous ne jugeons pas que chacun d'eux, pris isolément, soit arrivé à la perfection.

C'est pourquoi nous engageons les constructeurs à ne pas s'arrêter en bonne voie et à reprendre avec un nouveau zèle et une nouvelle ardeur, en s'inspirant des progrès réalisés autour d'eux et des renseignements qu'ils ont pu recueillir, leurs travaux et leurs recherches. Nous savons déjà qu'à l'heure actuelle certains d'entre eux marchent, avec de louables efforts, à la conquête de nouveaux perfectionnements.

Nous faisons des vœux pour que ces efforts soient couronnés de succès et que ces succès contribuent à décider la boulangerie à accepter définitivement le pétrissage mécanique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour aider les constructeurs dans leurs recherches, nous nous permettrons quelques conseils dictés par notre vieille expérience, et pour cela nous leur signalerons les pièces que nous avons le plus remarquées dans les divers appareils que nous avons été appelé à examiner et auxquelles nous attachons le plus d'importance.

La cuve tournante, système Deliry, nous paraît être celle qui répond le mieux au besoin qu'a la pâte de se reposer alternativement pendant le travail. Le coupe-pâte qui y est fixé et qui nettoie automatiquement le pétrin nous paraît aussi rendre un utile service.

Nous préférerions pour la cuve un métal moins froid que la fonte. Nous désirerions, pour la propreté et la facilité du nettoyage, la voir revêtue comme celle du pétrin Dathis d'un étamage solide.

Nous voudrions que le mécanisme intérieur fût tout à fait protégé contre l'introduction de la pâte, qui en y pénétrant le rouille et l'encrasse.

Nous pensons que les fraseurs de M. Purel et de M. Dagry, mais surtout le premier, sont des outils de grande valeur. Le résultat de leur travail ne le cède en rien à celui des bras de l'homme.

Les pétrisseurs de M. Dathis sont aussi des instruments d'une conception heureuse, leur travail est remarquable.

Un pétrin mécanique composé de pièces du genre de celles que nous venons d'énumérer ou d'autres de semblable valeur, inspirées des mêmes idées, serait, selon nous, un appareil de pétrissage qui approcherait de bien près la perfection.

Pour la cuisson du pain, le progrès est encore plus marqué. Les derniers fours mixtes nous paraissent devoir faire abandonner les fours au bois qui, cependant, rendaient déjà de très bons services avec les derniers perfectionnements qu'avaient su leur donner nos habiles fourniers.

Mais les fours mixtes simplifient beaucoup le travail, ils sont plus économiques et surtout plus faciles à chauffer et à manœuvrer.

Par leur emploi, on supprime le séchage du bois, cause permanente d'incendie, et le fournil devient un atelier salubre et non plus infecté par la fumée et les gaz délétères qui émanent de la braise.

Tel est l'outillage le plus perfectionné offert à la boulangerie moderne pour sa transformation. Puisse-t-elle lui faire bon accueil et suivre l'exemple de sa sœur aînée la meunerie qui, elle, n'a reculé devant aucun sacrifice pour arriver à fabriquer les belles farines dont nous avons pu apprécier la valeur dans la classe 67.

Le résultat obtenu par la meunerie restera insuffisant pour le consommateur, tant que la boulangerie, pour transformer la farine en pain, ne sera pas organisée de façon à présenter celui-ci sous un aspect appétissant, et comme le produit d'un travail fait avec propreté, selon toutes les règles de la science et de l'hygiène.

Nos manutentions militaires et celle des hôpitaux de Paris, qui, par leur installation, remplissent toutes ces exigences, ont fait leurs preuves. Le pain produit par ces établisse-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments, sous le rapport de la fabrication, est bien supérieur à ce qu'il était avant ces engins nouveaux. Les boulangers, pour la plupart, le reconnaissent ; mais malgré cela ils restent, par une indifférence que je dirais presque coupable, dans leurs anciens errements.

Ce qu'ils craignent surtout, c'est le mauvais vouloir de leurs ouvriers.

Ils oublient en cette circonstance qu'un patron doit toujours être le maître de la direction de ses travaux. Le boulanger a besoin, comme tout chef d'établissement, de posséder la connaissance approfondie de son métier et de pouvoir toujours conduire lui-même les opérations de sa maison lorsqu'il y a nécessité. En l'état actuel de l'industrie boulangère, absorbé par les exigences de son commerce, il ne peut songer à pétrir à bras, à chauffer le four et à préparer le bois nécessaire pour la cuisson du pain. Ce travail ne peut être exécuté avec succès que quand celui qui l'accomplit en possède une habitude journalière et lorsque le corps y est pour ainsi dire brisé.

Par l'emploi du pétrin mécanique et du nouveau four mixte, il n'en est plus de même, le boulanger peut avec facilité et sans fatigue parer à toutes les éventualités.

Nous sommes assuré par l'expérience que, faite dans ces conditions, la fabrication même du pain l'intéresserait, qu'il ne la confierait plus aussi légèrement à des hommes qui, quelquefois incapables, gâchent sa marchandise et lui causent un préjudice notable. Grâce au pétrissage mécanique, une nouvelle source de bénéfices lui serait assurée par le rendement supérieur que donne toujours un travail plus complet de la pâte.

L'ouvrier boulanger, lui, est franchement hostile au pétrin mécanique parce qu'il croit que, par l'emploi de celui-ci, il perdra son gagne-pain.

Avec un peu de réflexion, il se rendrait facilement compte qu'il ne peut en être ainsi. Le pétrissage ne comporte pas à lui seul tout le travail de la boulangerie. Celui-ci, pour être régulier, réclame une compétence qui ne s'acquiert que par l'habitude et nécessite des hommes spéciaux.

Au contraire, débarrassé d'un travail pénible et abrutissant, l'ouvrier serait assuré de pouvoir, même dans l'âge mûr, conserver et remplir son emploi, tandis qu'il n'en est pas de même actuellement.

Le pétrissage fait à bras demande une très grande force musculaire qui oblige l'ouvrier, lorsque celle-ci vient à lui faire défaut, à changer de métier pour courir à l'aventure, à la recherche d'un moyen d'existence quelconque.

Le résultat de son travail ne dépendant plus que de son intelligence, sa vie deviendrait meilleure, il y trouverait le bien-être et perdrait sûrement cette funeste habitude d'intempérance à laquelle il se croit obligé de recourir pour réparer ses forces et qui, trop souvent, après avoir causé, avec la fatigue, la ruine de sa santé, le mène à la misère.

En abordant ces détails, qui dans ce rapport sont peut-être un peu hors de propos, nous n'avons pas eu la pensée de froisser la corporation de la boulangerie dans laquelle nous ne comptons que des amis ; mais nous avons cru utile de dénoncer tous le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

défauts de la fabrication actuelle du pain pour engager tous ceux que cette question intéresse à agir par les moyens dont ils disposent pour arriver à réformer cet état de choses.

Notre désir le plus ardent est de voir cette corporation si digne d'intérêt, par l'importance de ses services journaliers, profiter des progrès réalisés par la science pour améliorer le sort de chacun de ses membres, patrons et ouvriers, que nous voudrions voir tous réunis dans une sympathique entente pour travailler ensemble à perfectionner leur art.

Nous sommes assuré que leurs rapports seraient meilleurs et qu'ils y gagneraient les uns et les autres, en même temps que la juste rémunération de leurs travaux, la satisfaction que l'on éprouve toujours après une mission bien remplie.

En terminant, et pour compléter le rapport qui précède, nous exprimerons le vœu de voir notre boulangerie dotée d'écoles professionnelles où, sous la direction de professeurs intelligents et dévoués, elle pourrait puiser toutes les connaissances scientifiques et pratiques indispensables pour mener à bonne fin cette opération si intéressante et si utile de la fabrication du pain.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'INDUSTRIE SUCRIÈRE

RAPPORT

PAR

M. ÉMILE BOIRE

INGÉNIEUR CIVIL

ADMINISTRATEUR-DIRECTEUR DE LA SOCIÉTÉ DES SUCRERIES DE BOURDON

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IV.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'INDUSTRIE SUCRIÈRE.

Peu d'industries ont subi depuis une trentaine d'années des transformations aussi nombreuses, aussi profondes que celles qui ont marqué les différentes étapes de l'industrie sucrière.

Il y a quarante ans, tous les pays étaient tributaires des contrées où croît la canne à sucre, pour les besoins de leur consommation; le sucre de betterave existait à peine.

Mais, dès que l'influence considérable que la culture de la betterave exerce sur la prospérité agricole a été reconnue, d'importantes faveurs fiscales en ont hâté le développement dans tous les pays où elle peut se pratiquer, et aujourd'hui, ces pays disputent aux contrées qui produisent la canne, la suprématie du marché des sucres dans le monde entier.

La fabrication du sucre, guidée par les découvertes de la science, s'est transformée en améliorant ses produits, en abaissant considérablement ses prix de revient, et les progrès réalisés ont été la source du grand développement qui s'est manifesté dans la consommation du sucre et, par suite, dans l'industrie qui le produit.

Et si, pour mesurer le développement de la production du sucre et la part que la betterave et la canne y ont prise, on consulte les statistiques en se reportant aux époques des expositions universelles qui ont eu lieu en France depuis 1855, on trouvera les renseignements que voici :

ANNÉES.	PRIX de 100 kilogr. DE SUCRE raffiné (droits déduits).	PRODUCTION DU SUCRE DANS LE MONDE ENTIER			POUR 100 DE LA PRODUCTION TOTALE.	
		totale.	Sucre de canne.	Sucre de betterave.	Canne.	Betterave.
	francs.	tonnes.	tonnes.	tonnes.		
1855.....	115	1,423,000	1,233,000	190,000	87	13
1867.....	80	3,622,000	2,938,000	684,000	81	19
1878.....	70	4,865,000	3,444,000	1,421,000	71	29
1889.....	50	5,262,000	2,535,000	2,727,000	48	52

Ce tableau montre que dans la période qui s'est écoulée de 1855 à 1889 le prix du sucre, abstraction faite de tous droits de consommation, a passé de 115 francs par 100 kilogrammes à 50 francs; que la production totale a passé de 1,423,000 tonnes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à 5,262,000 tonnes. Il montre aussi que dans ce développement considérable c'est le sucre de betterave qui a eu la plus grande part, puisque sa proportion dans la production totale, qui était de 13 p. 100 en 1855, est de 52 p. 100 en 1889.

Ce développement de la production générale du sucre continue sa marche ascendante, et celle de 1889-1890 paraît devoir être très approximativement de 6,200,000 tonnes comprenant 2,560,000 tonnes de sucre de canne et 3,640,000 tonnes de sucre de betterave.

Les différentes expositions universelles qui se sont succédé depuis 1855 ont permis de suivre les progrès apportés dans le matériel et dans les procédés de fabrication.

De 1855 à 1867, ces progrès ont été importants et nombreux. Ils ont été caractérisés par les tentatives faites avec un succès croissant pour substituer dans l'extraction du jus des betteraves, les presses continues aux presses hydrauliques jusqu'alors employées; par les importants perfectionnements apportés dans les procédés d'épuration calcique des jus et par l'emploi des filtres-presses substitués aux anciennes presses à écumes; par la généralisation de l'emploi des appareils à triple effet pour la concentration économique et à basse température des jus sucrés; par l'emploi de nouveaux appareils permettant de cuire les sirops à basse température et d'obtenir rapidement des sucres blancs cristallisés à l'aide des turbines essoreuses dont l'emploi se généralisait; par l'apparition des osmogènes permettant d'extraire des mélasses une notable partie du sucre qu'elles contiennent.

De 1867 à 1878, le procédé d'extraction du jus de betteraves à l'aide des presses continues se développait, quand le mode d'extraction de ce jus par diffusion est survenu pour montrer que cette extraction pouvait se faire plus complètement et plus économiquement qu'avec tous les procédés jusqu'alors employés.

Dans la même période on a vu se généraliser l'application des perfectionnements nés dans la période précédente; l'emploi des osmogènes pour le traitement des mélasses et pour l'épuration des égouts de premier turbinage a pris une place importante dans les fabriques.

Cette même période a été caractérisée aussi par l'emploi des turbines combinées avec un nouveau mode de moulage des sucres, à l'effet d'obtenir rapidement des plaquettes de sucre raffiné, en remplacement des pains dont la fabrication est lente et encombrante.

De 1878 à 1889, le procédé d'extraction du jus par diffusion s'est généralisé dans les sucreries de betteraves, et son application dans les sucreries de canne, quoique très restreinte encore, laisse espérer le plus grand succès. Des essais sont faits pour améliorer l'emploi de ce procédé en le rendant continu.

Le procédé de la diffusion permettant d'extraire le jus des betteraves, même les plus denses, la culture de la betterave à sucre s'est transformée pour fournir aux usines des racines dont la richesse saccharine est considérable. Avec ces betteraves et à l'aide des procédés perfectionnés qui leur sont appliqués pour en extraire le sucre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les rendements industriels ont augmenté dans une proportion énorme et aujourd'hui, à poids égal de matière première, la quantité de sucre extraite des betteraves est notablement supérieure à celle que l'on peut extraire de la canne.

Les procédés, que les progrès antérieurement acquis ont mis en usage dans les fabriques, ont reçu de nombreux perfectionnements de détail qui en ont rendu l'emploi plus pratique et plus économique.

Des essais faits pour substituer au procédé ordinaire de la carbonatation une méthode d'épuration calcique continue, font espérer qu'un nouveau et important progrès sera bientôt réalisé.

Un meilleur emploi des appareils à évaporer à effets multiples, permettant d'échanger la presque totalité de la vapeur formée dans les générateurs pour le service de l'usine, contre un poids proportionnel de vapeur obtenue par la concentration des jus, a reçu déjà beaucoup d'applications et donne lieu à une importante économie dans la dépense de combustible.

La suppression presque générale des anciens filtres à noir et leur remplacement par des appareils à tissus filtrants est également une des modifications importantes survenues dans la dernière période décennale.

L'extraction du sucre des mélasses, déjà en pratique à l'aide du procédé de l'osmose, a reçu une extension importante par l'application de nouveaux procédés qui, au lieu d'éliminer des mélasses les impuretés nuisibles à la cristallisation du sucre, font entrer ce sucre dans des combinaisons insolubles dans certaines conditions, pour former des sucrates qui sont traités ensuite à l'effet de mettre le sucre en liberté.

Le raffinage des sucres en turbines a reçu d'importants perfectionnements, et l'application de ce procédé a pris une grande extension non seulement dans les raffineries spéciales, mais aussi dans les fabriques de sucre.

L'Exposition universelle de 1889 s'est donc ouverte, en ce qui concerne l'industrie sucrière, avec une application très étendue, très généralisée de tous les procédés et appareils que l'Exposition de 1878 avait mis en relief, et qui, dans la dernière période décennale, ont reçu de nombreux perfectionnements dont l'exposition des machines et appareils réunis dans la classe 50 a été l'imposante manifestation.

Avant d'examiner ces machines et appareils, nous donnerons le nom des ingénieurs, des constructeurs et des industriels qui les ont présentés.

Nous trouvons :

Pour la France. — La Société des anciens établissements Cail et Cie. — La Compagnie de Fives-Lille. — MM. Borsat. — Brissonneau, Derouable et Lotz. — Burton fils. — Cabasson. — Chenaillier. — Deny frères. — Faure (Pierre). — Gallois (Charles). — Godillot. — Guillaume. — Horsin-Déon. — Jean et Peyrusson. — Leclaire et Legendre. — Mariolle-Pinguet. — Maguin. — Montauban et Marchan-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIER. — THOMAS. — DREYFUS frères. — FONTAINE (Louis). — La SOCIÉTÉ DE CONSTRUCTION MÉCANIQUE DE SAINT-QUENTIN (ancienne maison Lecointe et Villette). — La SOCIÉTÉ DE RAFFINAGE DES MÉLASSES (M. MANOURY, directeur.) — MM. GALLOIS et DUPONT. — L'ASSOCIATION DES CHIMISTES POUR SUCRERIES ET DISTILLERIES.

Colonies françaises et pays de protectorat :

Service local de Saïgon (Cochinchine). Province de Phu-Yen (Annam-Tonkin). M. AMELIN (Charles) (Réunion).

Pour la Belgique. — MM. HALOT (Émile et Jules) et C^ie^. — La SOCIÉTÉ DES ATELIERS DE BRABANT (administrateurs VAN GOETHEM [P. et W.]).

Pour l'Égypte. — DAIRAH SANIEH, de Son Altesse le Khédive.

Pour l'examen des machines et appareils exposés dans la classe 50, et qui intéressent l'industrie sucrière, nous suivrons l'ordre des opérations de la fabrication du sucre.

Pesage des betteraves.

Les betteraves, au sortir des champs, sont pesées avec la terre adhérente, à l'effet de déterminer leur valeur industrielle, puis elles sont conduites à l'usine où elles reçoivent dans des appareils spéciaux un lavage énergique qui les débarrasse de cette terre. C'est après ce lavage qu'elles entrent dans la fabrication.

Depuis quelques années, il est d'usage, non seulement pour satisfaire à des prescriptions de la législation sucrière, mais aussi pour les besoins du contrôle technique du travail, de déterminer rigoureusement le poids des betteraves entrant dans la fabrication.

Il existe, à cet effet, un grand nombre de machines spéciales. Toutes sont disposées de façon à ne peser, pour la simplification des opérations, qu'une charge déterminée et constante; dans toutes ces machines les pesées successives sont enregistrées automatiquement par un compteur, et leur agencement général est tel qu'il ne peut se produire aucune erreur ni dans le pesage, ni dans l'enregistrement automatique auquel il donne lieu.

Plusieurs spécimens de ces machines figuraient dans la classe 50.

M. MAGUIN (France) a exposé un appareil de pesage composé d'une benne fixée sur le tablier d'une bascule.

La benne a un volume correspondant au poids constant de betteraves que la bascule doit enregistrer. Elle porte à sa partie supérieure un couvercle, et, à la partie inférieure de l'une de ses parois verticales, une porte de déchargement. Les mouvements de cette porte et ceux du couvercle sont solidaires les uns des autres. La porte de déchargement ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peut s'ouvrir que quand le couvercle est fermé, et celui-ci, à son tour, ne peut s'ouvrir que quand la porte de déchargement est fermée.

La manœuvre des portes se fait à l'aide d'un volant placé à l'arrière de la machine, et qui agit sur les leviers de commande de ces portes.

Les betteraves sont introduites dans la benne et la bascule ne fonctionne que quand leur poids a atteint exactement celui qui doit être enregistré.

MM. Montauban et Marchandier (France) ont exposé un appareil de pesage composé, comme le précédent, d'une bascule sur le tablier de laquelle est fixée une benne dont les portes de chargement et de déchargement sont solidaires l'une de l'autre. Par suite d'une disposition ingénieuse, la porte de déchargement ne peut s'ouvrir que quand le tablier occupe une position déterminée qui correspond exactement au poids constant à enregistrer.

Le couvercle supérieur de la benne étant à claire-voie, il est facile de régler le poids de betteraves à peser.

La manœuvre des portes est assurée par un mécanisme de leviers très bien combiné.

M. Gallois (Charles) a exposé le spécimen réduit d'un appareil de pesage qui diffère essentiellement des précédents.

Il se compose d'une sorte de fourreau ou tunnel ayant à chacune de ses extrémités une bascule spéciale et dans lequel peut se mouvoir sur des rails un wagonnet actionné à la main par une chaîne sans fin.

Le wagonnet, placé sur le tablier de la première bascule, y est maintenu par un heurtoir fixé au sommet du tunnel et ne peut se déplacer que quand, sous le poids des betteraves dont on le remplit, le tablier s'est abaissé d'une quantité déterminée qui permet d'échapper le heurtoir et qui correspond exactement à une charge constante.

Le wagonnet rempli de betteraves est dirigé sur la deuxième bascule qui est à trébuchet. Si la charge est trop grande, le tablier s'abaisse et le wagonnet ne peut plus ni avancer ni reculer. Par une ouverture ménagée dans le tunnel, on règle le poids de betteraves s'il y a lieu, et le wagonnet continuant sa course déverse sa charge dans une trémie spécialement destinée à la recevoir, après l'avoir enregistrée automatiquement à l'aide d'un compteur.

En résumé, avec cet appareil de pesage à double bascule, le wagonnet rempli de betteraves ne peut quitter la première bascule que si la charge atteint un minimum déterminé et ne peut traverser la deuxième bascule que si cette charge ne dépasse pas un maximum également déterminé. Il est évident que si l'écart entre ces deux limites est nul, les charges seront constantes et rigoureusement égales entre elles.

Dans son ensemble, cet appareil est conçu de façon à assurer un fonctionnement pratique et régulier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Extraction du jus des betteraves.

Il y a une dizaine d'années, pour extraire le jus des betteraves, on réduisait celles-ci en pulpe à l'aide d'une râpe, puis, sous l'action énergique d'une presse hydraulique ou d'une presse continue à cylindres, les cellules de cette pulpe étaient ouvertes, le jus en était exprimé et les pulpes pressées formant le résidu de ce travail étaient recueillies pour servir à la nourriture du bétail.

Ce mode d'extraction du jus nécessitait un matériel encombrant dont l'emploi et aussi l'entretien étaient coûteux. En outre, les pulpes pressées, quelles que fussent les précautions prises, entraînaient avec elles au moins 20 p. 100 du sucre contenu dans la betterave.

Aujourd'hui, l'extraction du jus des betteraves se fait par diffusion, dans de grands vases métalliques où la betterave, après avoir été préalablement réduite en cossettes, à l'aide d'un coupe-racines, est soumise à un lavage ou plutôt à une sorte d'osmose méthodique qui fait sortir des cellules de ces cossettes la presque totalité du sucre qu'elles contiennent.

Les cossettes épuisées sont ensuite séparées de l'eau de lavage qui les entoure, puis emmagasinées pour servir à la nourriture du bétail.

Ces cossettes épuisées n'entraînent avec elles que 2 à 3 p. 100 du sucre contenu dans la betterave. Le matériel nécessité par ce procédé d'extraction est d'un maniement facile et d'un entretien peu coûteux.

A tous les points de vue, ce nouveau procédé d'extraction est infiniment supérieur à ceux qui l'ont précédé et son emploi s'est rapidement généralisé.

La classe 50 a permis d'étudier les perfectionnements apportés dans le procédé de la diffusion, par l'examen du matériel spécial qui s'y trouvait exposé.

La Société des anciens établissements Cail (France) a exposé une batterie complète composée de douze diffuseurs et disposée sur deux lignes. Cette batterie est alimentée de cossettes fraîches par une courroie en gutta-percha qui longe les diffuseurs, et qui reçoit les cossettes tombant du coupe-racines.

Les diffuseurs sont cylindriques; les portes de vidange qui leur servent de fonds sont munies d'une fermeture à baïonnette, dont la manœuvre est facile. L'étanchéité de cette fermeture est assurée par un joint hydraulique qui exerce son action sur le pourtour de la porte.

Elle a aussi exposé un coupe-racines pour réduire les betteraves en cossettes. Dans cette machine, le disque mobile qui porte les couteaux est suspendu à une arcade à deux branches dont les extrémités reposent sur la trémie; cette disposition évite le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pivot de l'arbre vertical et augmente la surface de contact des racines avec le plateau. En outre, la trémie étant très volumineuse, le poids des betteraves qu'elle contient exerce une action favorable sur le fonctionnement des couteaux.

M. Guillaume (France) a présenté le plan d'un diffuseur continu composé de deux troncs de cône emboîtés l'un dans l'autre.

Le tronc de cône extérieur est fixe; il repose sur sa petite base, tandis que le tronc de cône intérieur, qui repose sur sa grande base et qui porte à sa partie inférieure deux spires et demie d'hélice, est animé d'un mouvement de rotation très lent.

L'espace annulaire qui dépasse ces deux troncs de cône va donc en croissant, depuis la partie inférieure jusqu'au sommet de l'appareil, dont la hauteur est de 8 à 10 mètres.

Les cossettes de betteraves, descendant par le cône intérieur, s'engagent dans l'espace annulaire inférieur pour sortir de l'appareil par la partie supérieure; elles rencontrent sur leur route l'eau introduite en haut de l'appareil et qui, cheminant en sens inverse, épuise méthodiquement ces cossettes du sucre qu'elles contiennent et sort ensuite de l'appareil.

Par suite des dispositions prises, c'est-à-dire par suite de la variation continue de la section annulaire dans laquelle circulent en sens inverse les cossettes et l'eau qui doit les diffuser, la durée du contact des cossettes et du liquide diffuseur est en raison directe du degré d'épuisement des cossettes.

La Société de raffinage des mélasses (M. Manoury, directeur) (France) a exposé les plans d'une installation d'appareils nécessaires pour appliquer son procédé de réintroduction des égouts de turbinages dans les batteries de diffuseurs.

Le but de ce procédé est d'épurer ces égouts en leur faisant traverser la couche des cossettes contenues dans les diffuseurs. Dans cette traversée, il se produit, d'après l'inventeur, et par l'entremise de la membrane des cellules des cossettes, un échange osmotique qui, tout en épuisant les cossettes du sucre qu'elles contiennent, retient dans les cellules une partie notable des matières organiques et des matières minérales des égouts.

Avant d'introduire les égouts de turbinage dans la batterie, on les amène à la densité du diffuseur dans lequel ils entrent, en les diluant avec les eaux de lavage des filtres-presses, et les petits jus de l'usine.

En outre, pour que l'épuration cherchée se produise avec énergie, il est nécessaire de débarrasser les égouts de la chaux qu'ils peuvent contenir et qui nuirait aux phénomènes osmotiques; à cet effet, on les sature avec un acide qui donne avec la chaux une combinaison insoluble. L'inventeur recommande de préférence l'emploi de l'acide phosphorique baryté pour obtenir cette combinaison.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Maguin (France) a exposé plusieurs appareils destinés à l'application du procédé de la diffusion, et qui sont les suivants :

Un *coupe-racines* coupant les betteraves sur toute la surface du disque mobile. Cette machine, composée d'un disque muni de couteaux tranchants répartis régulièrement sur sa surface, est surmontée d'une trémie légèrement conique et destinée à recevoir les betteraves.

La partie inférieure de la trémie est ouverte de façon à répartir les betteraves sur toute la surface du disque mobile qui se trouve ainsi équilibré.

En outre, des plaques d'arrêt verticales maintiennent les betteraves à couper et permettent d'utiliser la pression exercée par celles qui sont contenues dans la trémie pour faciliter l'action des couteaux.

Couteaux. Porte-couteaux et matériel général pour l'entretien des couteaux. — M. Maguin a exposé en outre, comme matériel accessoire de coupe-racines, tout un ensemble très complet de couteaux, porte-couteaux épierreurs, une machine à dresser ces couteaux et une autre pour les affûter.

Il expose également un nouveau système de couteaux auquel il a donné le nom de «bienvenu» et qui est appelé à simplifier beaucoup l'outillage des coupe-racines. Ce couteau diffère des autres par sa largeur qui est excessivement réduite et aussi par un prix coûtant très faible qui permet, lorsque ce couteau est hors d'usage, de le remplacer purement et simplement par un autre comme cela se pratiquait pour les lames de râpe.

Desséchage des cossettes. — Quand les cossettes épuisées ont été séparées de l'eau qui les entourait, elles ont encore un degré d'humidité considérable et qui est ordinairement de 88 p. 100. Dans cet état, elles ne peuvent être conservées qu'en silos, comme les anciennes pulpes de presses.

Afin de pouvoir conserver ces pulpes plus facilement et surtout de rendre leur transport moins onéreux, on a cherché à les débarrasser de la grande quantité d'eau qu'elles contiennent et, à cet effet, MM. Buttner et Meyer ont imaginé un système de four que M. Maguin a construit en France et dont il a exposé les plans.

Cet appareil, dans son ensemble, comprend trois vastes chambres superposées et communiquant ensemble par l'une de leurs extrémités.

Dans chacune de ces chambres, se trouvent des agitateurs à palettes.

A la partie inférieure de l'appareil, on a ménagé un foyer à coke. Les gaz chauds sortant de ce foyer sont amenés dans la chambre supérieure par un conduit.

Ces gaz, aspirés par un ventilateur placé en bas de l'appareil, traversent les chambres superposées de haut en bas, rencontrant sur leur parcours la pulpe qui est entrée elle-même dans l'appareil par la chambre supérieure et qui, après avoir abandonné

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une partie suffisante de son humidité, est entraînée par le courant d'air chaud dans les chambres inférieures d'où elle tombe finalement dans une hélice qui l'amène au dehors.

La température des gaz chauds est réglée suivant les indications de pyromètres disposés à cet effet.

Les cossettes, pendant la traversée de cet appareil, perdent un poids d'eau représentant environ 90 p. 100 de leur poids d'entrée. Elles ont, à la sortie, un très bel aspect et ont conservé toutes leurs qualités nutritives.

M. Horsin-Déon a exposé plusieurs appareils ayant pour but de contrôler le fonctionnement des batteries de diffuseurs.

Ce contrôle est nécessaire. Il faut, en effet, pour qu'une batterie fonctionne dans de bonnes conditions industrielles, que le jus extrait ait une densité se rapprochant le plus possible de celle du jus naturel des cossettes et que le volume de ce jus extrait corresponde à l'épuisement aussi complet que possible du sucre contenu dans ces cossettes; il faut, en résumé, que, sous le plus petit volume possible, il sorte de la batterie un liquide sucré entraînant avec lui la presque totalité du sucre contenu dans les cossettes.

La densité du jus extrait est en raison directe de la durée du contact des cossettes et du liquide diffuseur et aussi de la température du milieu dans lequel s'effectue la diffusion. Cette densité est établie par la marche normale de la batterie, et on en déduit le volume de jus à extraire par diffuseur. Ce jus est reçu dans un bac jaugeur d'où il s'écoule dans le réservoir alimentaire de la carbonatation.

Les opérations de remplissage et de vidange du bac jaugeur se succédant avec une très grande rapidité, il est donc utile de les contrôler automatiquement.

Les appareils exposés par M. Horsin-Déon permettent d'exercer ce contrôle avec une grande précision. Ils comprennent :

Un *mesureur-enregistreur automatique*. — Cet appareil permet de contrôler automatiquement, non seulement le volume entré dans le bac jaugeur, celui qui en est sorti, mais aussi la régularité avec laquelle se sont faites ces opérations. En outre, un compteur à chiffres qui dépend de l'appareil indique le nombre des diffuseurs dont le jus a été tiré.

Cet appareil, peu volumineux, se compose d'un tambour dont la rotation très lente est réglée par un mouvement d'horlogerie. Une longue bande de papier recouvre ce tambour devant lequel se trouve un crayon pouvant se déplacer verticalement, et dont les mouvements sont déterminés par ceux d'un flotteur placé dans le bac jaugeur. On conçoit aisément que le crayon tracera sur la bande de papier des lignes dont l'amplitude sera la représentation graphique des circonstances suivant lesquelles s'est effectuée l'extraction du jus pour chaque diffuseur.

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un *densimètre-enregistreur*. — Cet appareil enregistre d'une manière continue la densité du jus avec toutes ses variations.

Il se compose en principe d'un tube rempli d'eau et fermé à ses deux extrémités par une membrane élastique. La partie inférieure est plongée dans le jus avant son entrée dans le bac jaugeur; le liquide intérieur est donc constamment en équilibre de température avec le jus tiré, et toutes les variations de densité de celui-ci occasionnent sur la membrane inférieure des mouvements que la colonne d'eau transmet à la membrane supérieure.

Cette membrane supérieure communique à son tour ses mouvements à un crayon qui les trace sur une bande de papier enroulée sur un tambour comme dans l'appareil précédent.

Échantillonneur du jus extrait. — Cet appareil permet de prélever, pour les besoins du contrôle au laboratoire et par chaque diffuseur, un échantillon exact du jus qui en est sorti.

Il se compose d'un tube ouvert à ses deux extrémités et d'une hauteur égale à celle du bac jaugeur dans lequel il est installé. Ce tube porte à sa partie inférieure un robinet à trois voies, qui le met en communication soit avec le bac, soit avec le dehors. Le jus qui sort du diffuseur entre en même temps dans le bac et dans le tube; quand le tirage est terminé, on écoule au dehors le liquide contenu dans le tube et qui est la représentation exacte du jus reçu dans le bac.

Épuration des jus.

Cette opération a pour but de débarrasser le jus de betteraves des matières qu'il contient en dissolution et qui entravent la cristallisation du sucre. Elle se fait généralement à l'aide de la chaux employée suivant le procédé de la double carbonatation qui a déjà figuré aux Expositions de 1867 et de 1878. Ce procédé d'épuration calcique est susceptible de recevoir beaucoup de perfectionnements. Depuis quelques années des essais industriels sont faits pour rendre continu le travail ordinaire de la carbonatation.

Dans cet ordre d'idées la maison Louis Fontaine (France) a exposé un carbonateur continu, construit suivant les plans de l'ingénieur M. Barbet.

Cet appareil se compose d'une grande cuve cylindrique, divisée intérieurement par des chicanes fixées sur sa paroi. A la partie inférieure de la cuve se trouve un serpentin de chauffe surmonté d'un serpentin barboteur qui reçoit le gaz carbonique.

Le jus à carbonater entre dans l'appareil par la partie supérieure et s'écoule de haut en bas en rencontrant le gaz qui, venant d'en bas, s'écoule en sens inverse.

Arrivé à la partie inférieure, le jus entre dans un décanteur continu dans lequel il se sépare des dépôts formés par la carbonatation.

Le volume du jus admis dans l'appareil, celui du gaz carbonique et le poids de va-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peur également admis dans les serpentins sont réglés de façon que ce jus soit dépouillé autant que possible des impuretés à éliminer, et de façon aussi que le gaz arrivant à la partie supérieure soit dépouillé de l'acide carbonique qu'il contenait. Le surplus du gaz et les vapeurs formées dans l'appareil sont dirigés au dehors par un conduit spécial.

M. Horsin-Déon (France) a également exposé un carbonateur continu dont la forme extérieure est celle d'un filtre-presse.

Cet appareil se compose, à la façon des filtres-presses, d'un plateau fixe et d'une série de plateaux mobiles.

Ces plateaux mobiles, séparés par des plaques de tôle, présentent dans leur ensemble des chambres alternativement larges et étroites et qui communiquent ensemble par des ouvertures pratiquées alternativement en haut et en bas des plaques de tôle.

Le jus chaulé et le gaz carbonique, sous l'action d'une pression extérieure, pénètrent dans l'appareil par le plateau fixe et entrent dans la première chambre de l'appareil. Ils circulent ensemble de chambre en chambre, pénétrant par en haut dans les chambres étroites et par en bas dans les chambres larges.

En circulant ainsi, le gaz chasse le jus des chambres étroites dans les chambres larges où il barbote et précipite les composés formés par la chaux et les impuretés du jus.

Après une série de barbotages, le jus sort épuré de l'appareil, et l'excès de gaz s'écoule au dehors par un conduit spécial.

Le chauffage du jus à carbonater se fait à l'aide de serpentins placés dans les chambres larges au commencement et à la fin de l'appareil.

Le jus à sa sortie du carbonateur est décanté dans des filtres-presses ou de toute autre façon.

Dans son ensemble le jeu de cette carbonatation est une application ingénieuse de la théorie des boules de Liebig employées dans les laboratoires pour absorber les gaz.

Carbonatation mixte. — La Société de raffinage des mélasses (M. Manoury directeur) a exposé les plans d'une installation d'appareils pour épurer les jus par un procédé qui, d'après l'inventeur, est plus efficace et plus rapide que celui de la carbonatation ordinaire.

Ce procédé consiste à faire agir, dans des conditions déterminées, l'action combinée de la chaux, du sulfate de magnésie et de la baryte comme agents épurateurs, et qui mis en présence de l'acide carbonique produisent des réactions dans lesquelles entrent les impuretés organiques et salines du jus, qui sont précipitées à l'état de dépôt.

Filtres-presses. — Pour séparer le jus carbonaté des dépôts qu'il a entraînés, quelquefois même pour effectuer la décantation du produit total de la carbonatation,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on emploie le filtre-presse qui retient le dépôt et qui laisse écouler au dehors le jus dépouillé de la plus grande partie de ses matières en suspension.

Le dépôt retenu dans l'appareil forme une série de tourteaux imprégnés de jus dont il importe de les débarrasser pour l'économie du travail.

Plusieurs spécimens de filtres-presses ont figuré dans la classe 50 ; ils rappellent tous, en principe, ceux que l'on a vus aux Expositions de 1867 et de 1878 ; ils n'en diffèrent que par leurs dimensions plus grandes et leur plus grand nombre de chambres filtrantes.

Dans tous ces filtres-presses, les dispositions les plus ingénieuses sont prises pour faire sortir des tourteaux, à l'aide d'un lavage à l'eau, le jus qu'ils contiennent.

Tous ces appareils perfectionnés sont, au point de vue de la qualité et de l'économie de travail, très supérieurs à ceux qui ont figuré dans les précédentes Expositions.

La Société des anciens établissements Cail a exposé un filtre-presse comprenant quarante chambres ayant chacune 1 mètre de côté.

La matière à filtrer est introduite dans l'appareil par un canal central. Les chambres sont formées par le simple rapprochement des plateaux filtrants. L'eau de lavage des tourteaux est amenée par un conduit latéral ménagé dans l'épaisseur des plateaux. La robinetterie permet d'introduire à volonté non seulement l'eau de lavage, mais aussi de l'air comprimé pour chasser le liquide qui reste dans les tourteaux.

La Compagnie de Fives-Lille a exposé un filtre-presse composé de 24 chambres ayant chacune 0^{m} 63 de côté et formées par le rapprochement des plateaux filtrants. La matière à filtrer est introduite par un canal central. Le lavage des tourteaux et l'asséchement par l'air comprimé sont assurés comme dans le filtre-presse précédent.

MM. Jean et Peyrusson ont exposé un filtre-presse composé de 50 chambres ayant chacune 1 mètre de côté. L'introduction de la matière à filtrer, le lavage et l'asséchement des tourteaux se font comme dans les filtres-presses précédents.

Le serrage des plateaux se fait par un volant central agissant sur un double levier système Dehne. L'âme de ces plateaux est composée de barrettes en fer à dilatation libre.

MM. Montauban et Marchandier ont exposé un filtre-presse du système Villette composé de chambres ayant 1 mètre de côté. Les chambres sont formées par un cadre évidé placé entre deux plateaux filtrants. La matière à filtrer entre dans l'appareil par un conduit latéral ; il en est de même pour l'eau de lavage et pour l'air comprimé qui doit assécher les tourteaux. Ces conduits sont ménagés dans l'épaisseur des cadres et plateaux. Les joints périphériques, au lieu d'être faits par les toiles qui recouvrent les plateaux, comme dans les appareils précédents, sont assurés par un caoutchouc encas-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tré dans les plateaux. Par les dispositions prises, les toiles filtrantes qui recouvrent ces plateaux ne sont percées d'avance d'aucun trou.

M. Mariolle-Pinguet a exposé un filtre-presse dont les chambres ont $0^m 80$ de côté et sont formées par le simple rapprochement des plateaux filtrants. La matière à filtrer entre dans l'appareil par un conduit latéral faisant corps avec lui, et communiquant avec les chambres par une douille en bronze placée dans l'un des plateaux. L'eau de lavage et l'air comprimé nécessaires à l'épuisement des tourteaux sont amenés, comme dans les appareils précédents, par des conduits spéciaux. Le serrage des plateaux est obtenu par une pression hydraulique exercée sur une tige d'acier qui agit au centre du plateau mobile extérieur.

Il a également exposé le plan des appareils qu'il a disposés pour recevoir les eaux de lavage des filtres-presses et les refouler dans la batterie de diffusion où, bien utilisées, elles remplacent un volume d'eau égal au leur, et évitent de cette façon les dépenses de concentration qu'elles auraient occasionnées. Ces appareils comprennent deux réservoirs combinés avec le jeu d'une pompe de refoulement.

La Société de constructions méganiques de Saint-Quentin a exposé un filtre-presse du système Kroog, dont les chambres sont formées par des cadres placés entre des plateaux filtrants. L'introduction de la matière à filtrer dans l'appareil se fait par un conduit latéral; il en est de même pour l'introduction de l'eau de lavage. Toutefois, en ce qui concerne le lavage des tourteaux, des dispositions sont prises pour former entre ces tourteaux une couche d'eau contenue dans les plateaux, puis une pression transmise à tous les plateaux oblige l'eau à traverser les tourteaux pour les désucrer. Par cette disposition on réduit dans une notable proportion la quantité d'eau employée pour le lavage.

La même Société a exposé un autre filtre-presse ayant des chambres de 1 mètre de côté et dans lesquelles la matière à filtrer pénètre par un orifice central. L'eau de lavage entre dans l'appareil par un conduit latéral comme pour les filtres-presses précédents.

MM. Halot et C^{ie} (Belgique) ont exposé un filtre-presse du système Ivan Cizeck. Dans cet appareil les chambres sont formées par des cadres placés entre des plateaux filtrants. Il se compose d'un plateau fixe faisant office de sommier, et à droite et à gauche duquel sont disposées les chambres de filtration. Le nombre de ces chambres est considérable et s'élève à 156. La matière à filtrer pénètre dans l'appareil par le plateau fixe et est distribuée dans les chambres par un conduit latéral. L'eau de lavage des tourteaux pénètre dans l'appareil par deux conduits latéraux et est amenée successivement sur les deux faces de ces tourteaux, ce qui permet d'effectuer le lavage des toiles filtrantes qui les enveloppent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le serrage des cadres et des plateaux est obtenu par une pression hydraulique exercée sur chacun des plateaux extrêmes de l'appareil.

M. Gallois (France) a exposé son procédé de lavage des écumes applicable à tous les filtres-presses. Ce procédé est caractérisé par un robinet spécial à trois voies qui permet d'introduire successivement dans les filtres-presses des écumes normales, puis un mélange d'écumes et d'eau, et enfin de l'eau seule. En manœuvrant convenablement ce robinet, on produit, dans l'intérieur des filtres-presses, un véritable lavage méthodique des tourteaux.

MM. Deny frères (France) ont exposé de nombreux spécimens de tôles perforées en fer et cuivre, destinées à différents usages industriels et notamment à garnir les plateaux filtrants des filtres-presses.

Pompes diverses pour le service des filtres-presses.

MM. Jean et Peyrusson ont exposé un système de pompes à écumes, de très grandes dimensions et dont le débit est réglé suivant le travail des batteries de filtres-presses, par l'action d'un régulateur de pression qui agit sur la valve d'admission de vapeur du moteur de ces pompes, afin d'en activer ou d'en ralentir la vitesse.

La Société des anciens établissements Cail a exposé les plans d'une pompe à écumes, établie sur le même principe que la précédente.

La Compagnie de Fives-Lille a exposé un compresseur d'air système Venger, analogue à celui qui est employé dans les chemins de fer pour le fonctionnement automatique des freins et qu'elle a disposé pour le refoulement des écumes dans les filtres-presses, et pour différents autres usages des sucreries.

La Société Halot et C^ie^ a également exposé une pompe à air comprimé pour le refoulement des écumes. Cette pompe est actionnée directement par son moteur à vapeur. Dans cette pompe l'admission et la sortie de l'air se font à l'aide d'un tiroir à coquille du système Burckardt et Weiss, et dans lequel un orifice pratiqué dans l'épaisseur de la coquille établit, vers la fin de la course du piston à air, une communication entre les deux faces de ce piston, laquelle a pour effet de détruire l'influence fâcheuse des espaces nuisibles occasionnés par les recouvrements des bandes du tiroir.

M. Guillaume (France) a exposé un appareil qu'il emploie pour différents usages industriels et notamment pour le refoulement des écumes.

Cet appareil se compose d'une sorte de monte-jus muni d'une boîte à clapets et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

combiné avec un distributeur de pression de vapeur ayant la forme d'un robinet à trois voies.

Ce robinet, animé d'un mouvement de rotation très lent et continu, met le monte-jus en communication alternativement avec le ballon des retours de vapeur d'échappement des machines, dans lequel règne une pression faible, et avec la conduite générale des vapeurs sortant des générateurs. Pendant la première période, les écumes légèrement en charge sur le monte-jus entrent dans celui-ci par le clapet d'aspiration, et en sortent pendant la deuxième période par le clapet de refoulement pour se rendre dans la batterie des filtres-presses; puis la vapeur qui a effectué le refoulement s'écoule dans le ballon des échappements.

Le monte-jus est muni intérieurement d'un flotteur qui interrompt la communication avec le distributeur de pression quand ce monte-jus est plein.

Filtration des jus et des sirops. — Les jus sortant des filtres-presses ou des décanteurs de la carbonatation, de même que les sirops qui proviennent de la concentration de ces jus, contiennent en suspension des matières légères qui ont échappé aux filtrations précédentes et dont il est nécessaire de les débarrasser par une nouvelle filtration.

Cette nouvelle filtration s'effectuait généralement, il y a peu d'années, sur le noir animal qui remplissait en outre le rôle d'agent épurateur. Mais par suite des soins plus grands apportés dans le travail, et aussi par l'amélioration de la qualité des betteraves, on a abandonné dans la plupart des fabriques l'emploi du noir animal, et la filtration finale des jus et des sirops s'effectue dans des appareils munis de tissus filtrants en coton.

Plusieurs de ces appareils ont figuré dans la classe 50.

La Société des anciens établissements Cail a exposé un filtre à sacs du système Kasalouski.

Ce filtre se compose d'une série de plateaux dont les surfaces à claire-voie sont rigides et formées, à la façon des cottes de mailles, par des spirales en fils d'acier. Chaque plateau est recouvert d'un sac en coton et suspendu à un tuyau avec lequel il fait corps.

Tous les plateaux sont enfermés dans un récipient clos, où le liquide à filtrer entre sous une faible pression suffisante pour lui faire traverser les tissus de coton et s'écouler après filtration sur ces tissus, par le tuyau auquel les plateaux sont suspendus.

La Compagnie de Fives-Lille (France) et la Société Halot et Cie (Belgique) ont exposé chacune un filtre du système Danek et Breitfeld.

Cet appareil se compose d'un récipient clos, dans lequel une série de plateaux en tôle ondulée et recouverts d'un tissu de coton ont chacun leur partie supérieure enga-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gée dans la fente longitudinale d'un tuyau auquel ils sont suspendus. Leur partie inférieure et leurs côtés sont bordés par un fer méplat.

Le liquide à filtrer entre dans le récipient sous pression, traverse les tissus filtrants et s'élève par les rainures de la tôle ondulée dans le tuyau supérieur d'où il s'écoule au dehors.

M. Maguin (France) a exposé un appareil de filtration dont la forme extérieure rappelle celle des filtres-presses. Le liquide à filtrer entre dans l'appareil, traverse successivement deux toiles et s'écoule au dehors.

La Société de constructions mécaniques de Saint-Quentin a exposé un filtre mécanique du système Baur qui diffère des précédents.

Ce filtre a la forme extérieure des filtres-presses et comprend comme eux une série de chambres formées par des cadres évidés et placés entre deux plateaux dont l'un présente une surface filtrante recouverte d'un tissu en coton ; l'autre plateau, non filtrant, est recouvert d'un tissu grossier.

On introduit dans les cadres évidés, et par un conduit ménagé à leur partie supérieure, du noir animal ou un autre agent épurateur. Le liquide à filtrer entre dans l'appareil par un conduit central; il traverse dans chaque chambre la couche de noir animal, puis le plateau filtrant et s'écoule au dehors comme pour les filtres-presses.

Concentration des liquides sucrés.

Dès que la filtration est achevée définitivement, les jus sont concentrés jusqu'au point où le sucre qu'ils contiennent puisse cristalliser et être séparé de la masse à l'aide des turbines essoreuses.

La concentration se fait par évaporation en deux opérations distinctes. La première a pour but de former des sirops qui sont ensuite filtrés, et ces sirops sont à leur tour concentrés pour former la masse cuite.

Cette concentration se fait depuis longtemps à basse température.

La formation des sirops est effectuée dans des appareils à effets multiples, chauffés avec les vapeurs d'échappement de l'usine; et celle des masses cuites est faite dans les appareils à cuire en grains employés depuis longtemps déjà.

Les appareils à évaporer qui ont figuré dans la classe 50 sont pour la plupart identiques à ceux que l'on a vus à l'Exposition de 1878.

La Société des anciens établissements Cail a exposé un appareil à triple effet avec tous ses accessoires. Pour répartir également la vapeur de chauffe dans les caisses tubulaires, celles-ci sont divisées en trois secteurs, ayant chacun leur prise de vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les vases de sûreté destinés à recueillir le liquide entraîné par les vapeurs, au lieu d'être placés entre les caisses, sont montés sur les caisses elles-mêmes.

La même Compagnie a exposé un appareil à cuire les sirops à basse température, et dans lequel les dispositions sont prises pour que l'on puisse à volonté faire circuler dans les serpentins de la vapeur directe ou de la vapeur d'échappement.

La Compagnie de Fives-Lille (France) a exposé un appareil à triple effet, qui diffère de celui qu'elle a exposé en 1878 par une meilleure disposition de la tuyauterie, calculée de façon que la vitesse de vapeur soit faible et à peu près constante depuis la première caisse jusqu'à la dernière, et qui en diffère aussi par l'addition sur chaque caisse d'évaporation d'un appareil pour arrêter les gouttelettes de jus entraînées par les vapeurs.

Cet appareil se compose d'une série de cylindres perforés et de cylindres pleins placés concentriquement, dans lesquels la vapeur circule avant de sortir de la caisse et en se dépouillant du liquide qu'elle a entraîné.

La même Compagnie a également exposé un appareil à cuire les sirops à basse température. Les serpentins peuvent être alimentés à volonté par de la vapeur directe ou par de la vapeur d'échappement.

Les vapeurs des serpentins sont recueillies, après condensation, dans un récipient disposé de telle sorte qu'en réglant la pression qui règne dans ce récipient, on puisse faire varier, suivant les besoins de l'appareil à cuire, la quantité de vapeur à condenser dans chaque serpentin.

Les vapeurs formées dans l'appareil s'écoulent à la façon ordinaire dans un vase de sûreté; elles rencontrent sur leur route un vase ralentisseur du système Hodek, semblable à celui qui a déjà figuré à l'Exposition de 1878, et qui a pour objet de retenir les gouttelettes de sirops entraînées par les vapeurs formées dans l'appareil.

La Compagnie de Fives-Lille a également exposé un ensemble de pompes pour desservir les appareils à triple effet, et qui comprend, outre le moteur, une pompe pour alimenter l'appareil des jus à évaporer, une autre pour extraire les sirops formés, et enfin une troisième pompe pour extraire les eaux provenant de la condensation des vapeurs dans la deuxième et la troisième caisse tubulaire. Cette dernière pompe est en communication avec les caisses tubulaires, par un récipient de grand volume, qui reçoit la totalité de l'eau à extraire.

Les clapets de ces différentes pompes sont mus mécaniquement.

M. Mariolle-Pinguet (France) a exposé un appareil à triple effet dont l'agencement général diffère du type ordinaire.

Sa forme extérieure est celle d'une chaudière unique verticale et de grande hauteur.

Cette chaudière est divisée en trois compartiments comprenant chacun une caisse de chauffe et une chambre d'évaporation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le premier compartiment, celui du bas, reçoit les vapeurs d'échappement, et les vapeurs formées dans ce compartiment s'écoulent dans celui qui le surmonte immédiatement pour s'y condenser en formant d'autres vapeurs qui, à leur tour, en formeront dans le troisième compartiment d'en haut.

Les vapeurs formées dans ce troisième compartiment, après avoir traversé un vase de sûreté qui retient les gouttelettes de liquide entraînées, s'écoulent dans un condenseur barométrique. Ce condenseur est en outre en communication avec les différentes caisses de chauffe pour régler la température d'ébullition dans les différents compartiments.

Le liquide à concentrer est introduit dans chaque caisse où sa concentration s'effectue complètement, et les sirops formés s'écoulent dans des récipients placés en bas de l'appareil.

La manœuvre de tous les robinets et soupapes se fait d'en bas.

La partie tubulaire de chaque compartiment présente des dispositions spéciales. Elle est formée par deux plaques tubulaires séparées l'une de l'autre par un espace très faible. Les tubes fixés sur ces plaques ont une hauteur ordinaire et pénètrent entièrement dans le liquide à évaporer. Chaque tube dans lequel arrive la vapeur d'en bas est fixé sur la plaque tubulaire intérieure. Il est recouvert par un autre tube fermé à son extrémité supérieure, et fixé par son extrémité inférieure sur la plaque tubulaire supérieure. Par cette disposition, la vapeur qui entre dans le tube intérieur circule entre les deux tubes, se condense, et l'eau de condensation s'écoule par l'espace ménagé entre les deux plaques tubulaires.

Dans son ensemble cet appareil est simple, d'un transport facile et d'une installation peu encombrante.

MM. Halot et C^ie^ (Belgique) ont exposé un spécimen réduit d'un appareil à effets multiples construit suivant le système Rilleux et combiné avec un ensemble de réchauffeurs du système Horsin-Déon.

Cet appareil diffère des précédents par les perfectionnements qu'il apporte dans l'utilisation des vapeurs de l'usine et par le supplément considérable d'économie qui en résulte.

Il se compose de quatre caisses et forme dans son ensemble un appareil à quadruple effet fonctionnant à la façon des appareils ordinaires.

Les deux premières caisses, en raison du travail plus important qu'elles ont à produire, ont des surfaces tubulaires notablement supérieures à celles des deux autres caisses.

En principe, cet appareil reçoit dans sa première caisse non seulement les vapeurs d'échappement comme cela se pratique dans les appareils à effets multiples, mais aussi un supplément de vapeur directe, calculé pour suffire au chauffage des jus à la carbonatation, au chauffage des sirops, et au besoin pour le chauffage de la diffusion et autres besoins de l'usine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce poids de vapeur, en se condensant dans la première caisse, s'échange contre un poids de vapeur sensiblement égal et formé par l'évaporation du jus. Les vapeurs formées dans cette caisse se rendent en totalité ou en partie dans la caisse suivante où le même phénomène d'échange se produit. Il part ensuite de cette deuxième caisse le poids de vapeur nécessaire pour l'achèvement de la concentration dans les deux caisses suivantes, et le surplus est recueilli pour les besoins de chauffage dans l'usine.

Les vapeurs formées dans la première caisse, ayant une température supérieure à celle des vapeurs formées dans la caisse suivante, sont utilisées en faible partie pour terminer le travail de la carbonatation, par exemple.

En résumé, par cet ingénieux emploi des vapeurs, on les échange contre un poids de vapeur tiré du jus et qui enlève de ce jus un poids d'eau représentant environ le double de leur propre poids. Il résulte évidemment de ce mode d'emploi des vapeurs une économie considérable dans les dépenses générales de combustible.

Pour effectuer le chauffage des jus et sirops, on emploie une série de réchauffeurs à faibles dimensions, dans lesquels la circulation des liquides est très active afin de mieux utiliser les surfaces de chauffage et afin aussi d'éviter les dépôts que les liquides pourraient laisser sur ces surfaces et qui entraveraient les phénomènes de transmission de chaleur.

L'ensemble des dispositions prises pour utiliser ainsi les vapeurs dans les appareils à effets multiples, constitue un progrès important et réalisé industriellement.

M. Chenaillier (France) a exposé un appareil d'évaporation à air libre composé d'une auge dans laquelle une série de lentilles creuses montées sur un arbre sont animées d'un mouvement de rotation.

L'arbre est creux et divisé intérieurement en deux parties par une cloison longitudinale. La vapeur entre par l'une des parties, pénètre dans les lentilles qui sont toutes en communication avec elle, et les produits de leur condensation s'écoulent par l'arbre creux. Le liquide à évaporer est dans l'auge et il est constamment répandu sur la surface des lentilles par des godets que celles-ci entraînent dans leur mouvement de rotation et qui déversent leur liquide quand ils sont arrivés au point culminant de leur course.

L'évaporation, se faisant en couche mince, est très rapide et amène un abaissement de la température normale d'ébullition; cette évaporation peut être obtenue à l'aide des vapeurs d'échappement.

M. Chenaillier a exposé également un appareil à cuire les sirops, basé sur le principe de construction de l'appareil précédent.

Il se compose de trois lentilles enfermées dans un récipient clos et dans lequel on entretient un vide relatif à l'aide d'une pompe à air ordinaire.

Les vapeurs formées dans le récipient sont condensées dans un appareil desservi par la pompe à air.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Malaxage et turbinage des masses cuites.

Les masses cuites sortant de l'appareil sont mélangées avec de la clairce, puis malaxées et triturées de façon à les rendre homogènes pour les faire passer ensuite dans la turbine essoreuse où elles déposent le sucre cristallisé qu'elles contiennent.

Les machines employées pour ce malaxage se composent en général d'un récipient dans lequel se meut un tambour armé de dents qui passe dans un peigne fixe. La masse cuite introduite dans le récipient est triturée par l'action du tambour.

En sortant du malaxeur, cette masse cuite est portée dans les turbines, soit à l'aide de baquets, soit par un distributeur mécanique.

La Compagnie de Fives-Lille a exposé deux malaxeurs-transporteurs de masse cuite. L'un est muni de son moteur, l'autre est actionné par une transmission de l'usine.

L'un et l'autre sont combinés avec le jeu d'une pompe qui reçoit la masse cuite malaxée et qui la refoule pour l'alimentation des turbines.

M. Maguin (France) a exposé un moulin malaxeur système Bergreen. Le malaxage, puissamment organisé, permet d'effectuer la trituration des masses cuites avec le minimum de clairce.

M. Thomas (France) expose tout un ensemble d'appareils et de machines pour malaxer les masses cuites, en effectuer la distribution mécaniquement dans les turbines, et pour faciliter la vidange des turbines.

Le malaxeur est formé par une nochère profonde qui règne tout le long de la batterie des turbines, et qui porte intérieurement une hélice tritureuse. La masse cuite est introduite à l'une des extrémités de la nochère dans laquelle elle circule par l'action de l'hélice qui la triture. Cette nochère est reliée à chaque turbine par une sorte de coffre jaugeur muni de deux portes qui le mettent à volonté en communication avec la nochère et avec la turbine. La masse cuite recueillie dans le coffre est ensuite déversée dans la turbine.

Quand le turbinage est terminé, au lieu de décharger le contenu de la turbine dans un sac, comme cela se pratique ordinairement, M. Thomas a disposé une nochère à hélice placée en bas des turbines et régnant tout le long de la batterie, et dans laquelle on déverse le sucre à l'aide d'un entonnoir placé à côté de chaque turbine.

Le sucre circule dans la nochère qui le déverse au besoin dans un élévateur disposé pour le conduire finalement dans le magasin.

MM. Brissonneau, Derouable et Lotz (France) ont exposé une turbine ordinaire munie de son appareil de clairçage à la vapeur. La crapaudine de l'arbre forme un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grand réservoir à huile, dans lequel le pivot se trouvant noyé a son graissage parfaitement assuré. La capacité du réservoir est suffisante pour assurer le graissage pendant plusieurs semaines.

La Société des ateliers du Brabant (Belgique) a exposé plusieurs turbines dans lesquelles la vidange se fait intérieurement. A cet effet, le fond du tambour porte une ouverture fermée à volonté par un couvercle, et dans laquelle on pousse le sucre détaché de la turbine.

Cette ouverture est en communication avec une nochère qui règne le long de la batterie des turbines et qui porte intérieurement une hélice destinée à transporter le sucre dans un élévateur qui le dirige sur le magasin.

Appareils pour laboratoire de sucrerie.

MM. Gallois et Dupont (France) ont exposé tout un ensemble d'appareils qu'ils destinent aux laboratoires de sucrerie et qui comprennent notamment une collection variée de râpes, forets-râpes et presses pour l'analyse des betteraves, une série de saccharimètres, microscopes, etc., et enfin une nombreuse collection de verreries graduées.

Matériel spécial aux sucreries de canne.

Pour extraire le sucre contenu dans la canne, il faut tout d'abord extraire de cette canne le jus ou vesou dans lequel le sucre est dissous, puis faire subir à ce vesou les opérations d'épuration et de concentration analogues à celles qui sont appliquées au jus de betteraves et pour lesquelles on emploie un matériel varié analogue à celui qui vient d'être décrit.

L'extraction du vesou présentant des difficultés différentes de celles que l'on rencontre dans l'extraction du jus de betteraves, le matériel employé pour cette extraction est différent de celui que l'on emploie dans les sucreries de betteraves.

La partie ligneuse qui forme l'épiderme de la canne et qui est divisée par des nœuds nombreux, recouvre les cellules qui contiennent le vesou.

Pour briser cette partie ligneuse très résistante et très difficile à rompre, et faire sortir le vesou des cellules, on a employé jusqu'à présent des moulins à cylindres très puissants et disposés pour faire subir à la canne une ou plusieurs pressions successives.

Mais quelle que soit la puissance des moulins, la canne, en une seule opération, n'abandonne qu'environ 65 à 70 p. 100 du vesou qu'elle contient. Il est nécessaire après la première pression de l'imbiber et de lui faire subir une deuxième opération, dans laquelle elle abandonne une partie importante du vesou que la première opération n'avait pu faire sortir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis quelques années on cherche à substituer aux moulins le mode d'extraction par diffusion appliqué aux betteraves. Les difficultés rencontrées principalement dans le coupage de la canne et dans l'utilisation des cossettes épuisées, pour le chauffage des générateurs de l'usine, ont jusqu'à présent entravé le développement de ce procédé d'extraction qui est appelé à apporter dans la fabrication du sucre de canne un progrès plus grand encore que celui qu'il a apporté dans la fabrication du sucre de betteraves.

Mais les difficultés rencontrées paraissent avoir reçu une solution satisfaisante, et il est à présumer que le procédé de la diffusion, appliqué à la canne, va dès maintenant entrer dans une grande période d'applications industrielles.

Dans la classe 50 de l'Exposition de 1889 on a pu voir des spécimens de machines et appareils employés pour extraire le vesou industriellement, et, à côté de ce matériel puissant et perfectionné, on a vu aussi, dans certaines expositions coloniales, les machines rudimentaires employées pour le même usage, dans les pays où l'industrie mécanique n'a pas encore pénétré.

En ce qui concerne le matériel spécialement destiné à l'extraction du vesou industriellement :

MM. Brissonneau, Derouable et Lotz ont exposé un moulin à pressions multiples, qui comprend quatre paires de cylindres accouplés. La canne s'engage entre les deux premiers cylindres, et avant de passer sous les autres, elle reçoit dans le moulin même une imbibition qui précède chaque nouvelle pression.

La première imbibition est faite avec un jet de vapeur, qui, en élevant la température de la canne, facilite les pressions suivantes; la deuxième imbibition est faite avec le vesou faible qui sort de la dernière pression, et l'imbibition finale est faite avec de l'eau, avant le passage de la canne sous les derniers cylindres.

Par l'ensemble des dispositions prises, la canne reçoit ainsi, dans le moulin même, une sorte de macération méthodique qui contribue puissamment à augmenter la quantité de vesou extraite par les procédés ordinaires.

M. Faure (France) expose une machine pour défibrer la canne, analogue à celle qu'il a exposée en 1878 et dont le but est de préparer la canne pour que l'action des cylindres du moulin soit plus efficace.

Les perfectionnements apportés dans la construction de cette machine, et notamment dans la denture hélicoïdale qui compose le cylindre défibreur, ont contribué beaucoup à en propager l'usage.

La Société des anciens établissements Cail a exposé un diffuseur détaché d'une batterie destinée à la diffusion de la canne coupée en lamelles et aussi de la bagasse, c'est-à-dire de la canne épuisée par les moulins.

Ce diffuseur ne diffère pas beaucoup de ceux qui sont employés pour la diffusion de la betterave. Cependant, afin de faciliter l'évacuation des bagasses, la forme adoptée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est celle d'un tronc de cône dont la grande base est en bas et munie d'une porte qui démasque entièrement cette base.

La Compagnie de Fives-Lille a exposé un coupe-cannes et deux diffuseurs avec le calorisateur intermédiaire.

Les diffuseurs sont analogues à ceux que la même Compagnie installe dans les sucreries de betteraves et présentent les perfectionnements les plus récents apportés dans la construction de ces appareils.

Le coupe-cannes exposé est actionné directement par un moteur spécial auquel il est relié, et se compose d'une vaste cuve en fonte dans laquelle se meut un plateau horizontal de 2 m. 40 de diamètre, muni de seize boîtes à couteaux, à la façon des plateaux de coupe-racines de betteraves. Sur la cuve et au-dessus du plateau mobile, est boulonné un plateau fixe surmonté d'une vaste trémie conique destinée à recevoir la canne à couper en lamelles.

Cette trémie est divisée en huit compartiments par des parois inclinées et correspondant à huit ouvertures pratiquées dans le plateau fixe.

La canne engagée dans la trémie descend par son poids dans les ouvertures du plateau fixe, et rencontre les couteaux du plateau mobile qui la réduisent en lamelles dont l'épaisseur est réglée par la position des couteaux.

La Daïra-Sanieh de Son Altesse le Khédive (Égypte) a exposé un modèle en relief d'une sucrerie et d'une exploitation de cannes à sucre, qui, par son ensemble et par ses détails, montre la bonne organisation de ce vaste établissement industriel et agricole.

M. Amelin (île de la Réunion) a exposé un four pour sécher les bagasses imbibées et les préparer à leur emploi comme combustible. Ce four, très simple et très bien combiné, est appelé à rendre beaucoup de services.

M. Godillot (Alexis) a exposé les plans des foyers qu'il construit pour l'utilisation des bagasses et des cossettes dans le chauffage des générateurs. La combustion s'effectue dans ces foyers savamment combinés, et les gaz chauds sont distribués sous les générateurs avec lesquels ils sont reliés.

EXPOSITIONS COLONIALES.

La province de Saïgon (Cochinchine), et celle de Phu-Yen (Annam-Tonkin) ont exposé chacune un moulin pour broyer la canne.

Ces moulins représentent les spécimens des machines généralement usitées depuis les temps les plus reculés pour extraire le vesou dans les pays qui ne disposent d'autres forces motrices que de celles de l'homme ou de celles des moulins à vent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ils se composent de cylindres en pierre qui se commandent les uns les autres par des rangées de dents d'engrenage croisées. L'effet utile de ces moulins est évidemment très faible.

Raffinage et moulage des sucres bruts.

L'opération ordinaire du raffinage des sucres consiste à les fondre pour former des sirops que l'on épure par une clarification au noir animal et au sang, puis à couler ces sirops, après les avoir concentrés, dans des moules coniques, où, sous l'action combinée de clairces successives et de sucettes essoreuses, ils prennent la forme, la consistance et la blancheur du pain de sucre classique.

En sortant des moules, les pains de sucre subissent un étuvage de plusieurs jours avant d'être livrés à la consommation.

Ces opérations sont longues et coûteuses; elles exigent de vastes bâtiments et un matériel considérable. En outre, l'usage de livrer au consommateur le sucre cassé en morceaux tendant à se généraliser, la forme ordinaire des pains se prête peu à l'opération du cassage.

Pour toutes ces raisons on a été amené à changer la forme conique des moules, à lui substituer une forme parallélipipédique de faible volume, se prêtant mieux au cassage, et exigeant un étuvage de moins longue durée. En outre, cette forme parallélipipédique a permis d'effectuer à l'aide des turbines, et beaucoup plus simplement qu'avec les sucettes, l'opération du clairçage et de l'essorage.

Déjà, à l'Exposition de 1878, on a pu voir plusieurs spécimens de moules parallélipipédiques combinés avec l'emploi de turbines spéciales pour achever l'opération du raffinage des sucres.

De nombreux perfectionnements ont été apportés à ce nouveau mode de raffinage. Les moules, plus facilement et plus rapidement chargés dans les turbines, fournissent des plaquettes qui, après un étuvage de quelques heures, sont réduites en morceaux par un simple cassage et sans occasionner de déchets.

Ce nouveau mode de raffinage, n'exigeant qu'un matériel restreint, a pris une place importante dans les raffineries spéciales, et beaucoup de sucreries l'ont annexé à leur fabrication, afin de pouvoir raffiner la totalité de leurs produits, qu'elles livrent ensuite à la consommation.

La classe 50 a présenté différents spécimens de matériel perfectionné pour l'application du procédé de raffinage en turbine.

La Société des anciens établissements Cail a exposé un ensemble de turbines et de moules établis d'après le système Tietz-Selwig et Lange.

Le raffinage se fait en trois opérations successives et dans trois turbines différentes.

Après le premier turbinage, qui chasse les sirops verts des blocs, ceux-ci sont portés dans un récipient où ils reçoivent la première clairce, puis ils subissent un deuxième

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

turbinage après lequel ils sont claircés à nouveau dans un autre récipient, et ainsi de suite pour le troisième turbinage. La dernière clairce est faite avec des sucres blancs très purs, et les égouts du troisième turbinage servent à claircer les blocs après leur sortie du premier turbinage.

Après l'achèvement de toutes ces opérations, les blocs sont divisés en plaquettes par le démontage des châssis et des plaques de zinc qui les séparent, puis portés à l'étuve où, après quelques heures, ils sont en état d'être réduits en morceaux.

La Compagnie de Fives-Lille (France) a exposé une turbine dans laquelle s'effectue le raffinage tout entier.

A cet effet, le tambour de cette turbine porte une couronne extérieure annulaire divisée en six compartiments dans lesquels on monte les moules. Les parois de la couronne sont en tôle pleine; chaque moule appuie sur cette couronne par l'entremise d'une plaque perforée mobile.

Sous l'action de la force centrifuge, les sirops verts sont tout d'abord expulsés des blocs, traversent les plaques perforées et remontent le long de la paroi extérieure de la couronne pour s'écouler par une rigole ménagée dans la cuve de la turbine. De cette rigole, et à l'aide d'un robinet à bec, les égouts de turbinage sont dirigés dans des bacs spéciaux.

Cette première opération faite, on arrête la turbine, on recouvre le tambour d'une fermeture hermétique, et on le met en communication avec une pompe à vide qui débarrasse les blocs de l'air qu'ils renferment. Ensuite la clairce est introduite dans les moules, et, quand les blocs en sont suffisamment imprégnés, on détruit le vide en ouvrant un robinet, on enlève le couvercle, et la turbine étant mise en marche, la clairce est expulsée à la façon du sirop vert.

Quand le clairçage et le turbinage sont achevés, on enlève les moules que l'on démonte et les plaquettes sont ensuite portées à l'étuve.

MM. Jean et Peyrusson ont exposé les plans d'une turbine qu'ils construisent suivant les données de M. C. Adant, son inventeur.

Le raffinage s'effectue dans cette turbine comme dans la précédente, mais c'est le moule lui-même qui forme la partie annulaire du tambour de la turbine, en sorte que l'opération du montage des moules se trouve supprimée.

A cet effet, la masse cuite est coulée dans une forme annulaire en tôle, divisée en six compartiments qui sont eux-mêmes subdivisés en plaquettes de forme absolument parallélipipédique. Dès que la masse est refroidie, on retire le moule de la forme et on le fixe sur le tambour de la turbine; celle-ci étant mise en mouvement, les opérations successives de clairçage et d'essorage se suivent, puis le moule est démonté et les plaquettes sont portées à l'étuvage pour être livrées à la consommation quelques heures après.

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Moulage des sucres blancs et des déchets de casserie.

Le sucre blanc produit dans les usines, ainsi que les déchets de sciage des pains et du cassage des sucres en général, peuvent entrer immédiatement dans la consommation; cependant, s'ils sont agglomérés en plaquettes, puis réduits en morceaux, ils sont préférés sous cette forme par le consommateur. Il existe différents procédés d'agglomération, et plusieurs d'entre eux ont figuré à l'Exposition de 1878.

M. Borsat (France) a exposé dans la classe 50 un matériel destiné à cette agglomération des sucres. Il se compose d'un moulin à noix qui réduit le sucre en poudre, et d'une machine dans laquelle s'effectue l'agglomération de la poudre.

Cette machine est composée d'un piston en bronze, de forme rectangulaire, et qui se meut dans une gaine.

Le sucre en poudre légèrement humecté est versé dans une trémie fixée sur la machine, et d'où il s'écoule dans la gaine. Sous l'action du piston, le sucre est moulé, comprimé, et les plaquettes ainsi formées sont retirées de la machine puis portées à l'étuvage.

Cassage des sucres.

La préparation des sucres en morceaux se fait par une succession d'opérations simples.

S'il s'agit de pains, il faut tout d'abord les débiter en rondelles, et celles-ci, ainsi que les plaquettes du sucre raffiné en turbinage, s'il y a lieu, sont divisées en lingots de formes régulières que l'on casse en morceaux.

Toutes ces opérations se font mécaniquement.

M. Borsat (France) a exposé différentes machines pour effectuer ces opérations, et qui comprennent :

Une scie circulaire agencée pour réduire les pains en rondelles.

Une machine à lingoter composée d'une série de scies circulaires très minces, montées sur un même arbre et dont l'écartement est réglé par la largeur des lingots à obtenir. Les scies sont recouvertes par une table d'où elles émergent d'une hauteur suffisante pour débiter les rondelles et les tablettes; cette table est légèrement inclinée de l'avant à l'arrière, et la matière à lingoter, étant disposée sur le haut de la table, est entraînée automatiquement sur les scies qui la débitent en lingots réguliers.

Une machine à casser les lingots, composée d'une table horizontale sur laquelle les lingots sont disposés parallèlement, puis entraînés automatiquement sous des cylindres casseurs montés sur la table.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces cylindres, munis d'arêtes tranchantes dans le sens de leurs génératrices, sont montés à un écartement qui dépend de l'épaisseur des lingots à casser. Ils sont animés d'un mouvement de rotation dont la vitesse, combinée avec la distance des arêtes tranchantes, amène toujours deux arêtes en face l'une de l'autre, afin d'exercer, à des distances régulières, sur les lingots la pression qui doit les découper.

La Compagnie de Fives-Lille a exposé une machine à casser les lingots ou plaquettes en morceaux réguliers.

Cette machine se compose d'une table sur laquelle on dépose les plaquettes de sucre que des entretoises mobiles, convenablement disposées, entraînent entre deux châssis portant chacun deux couteaux à angle droit.

Ces deux châssis sont animés d'un mouvement vertical de va-et-vient. Le mouvement du châssis inférieur est très faible, et n'a d'autre but que de soulever les plaquettes pour faciliter l'action des couteaux supérieurs et assurer une cassure très nette.

Extraction du sucre des mélasses.

La fabrication du sucre brut et le raffinage auquel il est soumis laissent comme résidu final une quantité considérable de mélasses dont la teneur en sucre est généralement de 40 à 50 p. 100 de leur poids.

Ce sucre, qui se trouve en présence d'impuretés avec lesquelles il est en solution dans la mélasse, ne peut cristalliser.

Les mélasses sont ordinairement utilisées dans la fabrication de l'alcool; mais on conçoit qu'en raison de l'importante quantité de sucre qu'elles contiennent, on ait imaginé des procédés divers pour extraire ce sucre.

Ces procédés sont basés les uns sur l'élimination des impuretés qui entravent la cristallisation, les autres sur la formation de sucrates que l'on décompose pour mettre le sucre en liberté.

Dans la première catégorie, le procédé d'épuration par l'osmose, imaginé par Dubrunfaut, a reçu de nombreuses applications.

Dans la deuxième catégorie de ces procédés, on a employé la chaux, la strontiane, la baryte, pour entrer en combinaison insoluble avec le sucre et former les sucrates qui sont ensuite décomposés. Mais tous ces procédés exigent un matériel considérable, et jusqu'à présent les dépenses de fabrication qu'ils occasionnent ne sont pas en rapport avec la valeur industrielle du sucre qu'ils mettent en liberté.

Sous l'empire de certaines faveurs que la législation leur a ménagées pendant quelque temps, ces procédés ont reçu beaucoup d'applications, et quelques-unes d'entr elles existent encore.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La Société des anciens établissements Cail a exposé le plan d'une sucraterie de mélasses, représentant le type des installations de ce genre qu'elle a faites dans quelques fabriques de sucre.

Le sucre est extrait de la mélasse sous forme de sucrate de chaux, et la décomposition de ce sucrate est faite au sein des jus de betteraves fraîchement extraits, ce qui permet à la fois de mettre le sucre en liberté et de chauler les jus frais pour l'épuration calcique qu'ils ont à subir.

Dans l'installation exposée, les dispositions les plus ingénieuses sont prises pour la pulvérisation de la chaux, pour son mélange avec la mélasse et pour chasser des salles de la sucraterie les poussières de chaux nuisibles à la santé des ouvriers.

La Société de raffinage des mélasses (France) a également exposé le plan représentant le type des nombreuses installations de sucraterie qu'elle a faites d'après le procédé de M. Manoury, son directeur.

Le sucre est extrait des mélasses sous forme de sucrate de chaux, et celui-ci est débarrassé des impuretés qu'il a entraînées avec lui, par un lavage à l'alcool qui dissout ces impuretés, sans décomposer le sucrate.

L'alcool employé est ensuite récupéré par une distillation ordinaire.

Association des chimistes de sucreries et de distilleries (France).

Cette association, de création récente, a pour but de centraliser les travaux techniques de ses membres, dont la plupart dirigent d'importants laboratoires de recherches, ou sont chargés du contrôle du travail dans les usines, et de divulguer ces travaux par des publications périodiques.

Elle a déjà rendu de grands services aux industries du sucre et de l'alcool, et elle est appelée à jouer un rôle prépondérant dans les progrès que l'avenir réserve à ces industries.

Cette association a organisé dans la classe 50 une exposition collective qui comprend d'abord les bulletins techniques publiés depuis sa fondation, c'est-à-dire depuis 1882, et de nombreux et importants ouvrages scientifiques publiés par quelques-uns des membres de l'Association.

Cette exposition comprend aussi des appareils les plus variés et les plus perfectionnés à l'usage des laboratoires de sucrerie et de distillerie.

Dans son ensemble, cette exposition est une manifestation imposante de l'importance que cette association d'ingénieurs-chimistes a prise dans l'industrie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'INDUSTRIE DE L'ALCOOL

RAPPORT

PAR

M. ÉMILE BOIRE

INGÉNIEUR CIVIL

ADMINISTRATEUR-DIRECTEUR DE LA SOCIÉTÉ DES SUCRERIES DE BOURDON

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE V.

MATÉRIEL ET PROCÉDÉS DE L'INDUSTRIE DE L'ALCOOL.

La distillation de l'alcool, dont l'origine remonte aux temps les plus reculés, a été pendant longtemps une industrie essentiellement agricole, annexée à de grandes fermes dans le but d'utiliser certains produits de la culture, et surtout pour accroître la fertilité du sol par l'emploi des résidus que laisse cette industrie.

Dans ces distilleries agricoles, les opérations réduites à leur plus simple expression ne produisent que des flegmes ou alcools impurs qui sont raffinés, rectifiés dans des établissements industriels, avant d'être livrés à la consommation.

Les perfectionnements apportés dans le matériel et dans les procédés de distillation, le développement considérable de la culture de la betterave, l'utilisation des mélasses de sucrerie dont la quantité s'est accrue avec le développement important de l'industrie sucrière, et aussi la facilité de plus en plus grande de se procurer des maïs à bas prix, ont amené l'organisation de vastes établissements dans lesquels la distillation et la rectification sont pratiquées par des procédés industriels, qui, tout en diminuant considérablement les frais de fabrication, ont permis d'augmenter le rendement en alcool des matières mises en œuvre.

Dans tous les pays où une législation spéciale et prudente peut-être n'a pas favorisé le maintien dans la ferme d'une industrie qui paraît jouer un rôle important au point de vue de la prospérité de l'agriculture, les grandes distilleries industrielles se sont rapidement développées au détriment des distilleries agricoles.

Grâce aux améliorations importantes apportées dans l'ensemble des opérations de la distillerie, la qualité de l'alcool produit s'est sensiblement améliorée, et beaucoup d'établissements industriels sont parvenus à fabriquer des alcools neutres, complètement dépouillés de leurs impuretés et possédant une grande finesse d'odeur et de saveur.

Cette qualité si recherchée dans les alcools est due non seulement aux matières employées pour les produire et aux appareils qui les distillent, mais aussi aux découvertes de la science appliquées avec des soins éclairés aussi bien dans la préparation des matières premières que dans le choix des levures et dans la conduite des fermentations.

Depuis longtemps les appareils de distillation sont arrivés à un haut degré de perfectionnement. Ceux qui ont figuré à l'Exposition actuelle ne diffèrent de ceux que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous avons vus aux Expositions de 1867 et 1878 que par des améliorations de détail.

Mais les progrès apportés depuis quelques années dans les autres phases du travail, ont été importants. L'application aux betteraves du procédé d'extraction du jus par diffusion employé dans les sucreries; la cuisson des matières amylacées par la vapeur employée à haute pression, qui assure la transformation en empois de la totalité de l'amidon qu'elles contiennent; les perfectionnements apportés dans le matériel et dans les procédés de saccharification par le malt ou par les acides; le choix mieux entendu des levures employées pour la fermentation, et enfin, le contrôle de toutes les opérations de la distillation par les chimistes des laboratoires que les industriels ont annexés à leurs usines, ont eu pour effet de diminuer considérablement la proportion d'impuretés que l'on trouvait autrefois associées à l'alcool, et d'augmenter notablement le rendement en alcool extra-neutre.

Enfin, pour éliminer les impuretés qui ont échappé aux premières opérations et que l'alcool entraîne avec lui pendant sa distillation, on a, dans le but de rendre la rectification plus efficace, imaginé différents procédés d'épuration des flegmes afin de les débarrasser des aldéhydes et des huiles de fusel qui constituent ces impuretés si nuisibles non seulement à l'odeur et à la saveur de l'alcool, mais aussi à la santé des consommateurs.

En outre, les résidus des matières amylacées et notamment ceux du maïs sont traités en vue d'obtenir l'huile qu'ils contiennent, et les procédés employés permettant d'obtenir ces huiles à bas prix, il en résulte dans le prix de revient de l'alcool une diminution sensible qui favorise le développement de la belle et grande industrie qui le produit. Tous ces perfectionnements commençaient pour la plupart à être connus en 1878 lors de l'ouverture de l'Exposition, et bien que ceux qui en font usage cherchent à garder le secret sur la façon dont ils les appliquent, l'emploi de ces perfectionnements tend de plus en plus à se généraliser.

Si la grande industrie de l'alcool a réalisé des progrès importants, surtout dans ses procédés de fabrication, il en a été de même dans l'industrie des liqueurs, qui aujourd'hui emploie un matériel très perfectionné pour la production des eaux-de-vie et autres liqueurs.

L'Exposition de 1889 s'est donc ouverte, en ce qui concerne l'industrie de l'alcool en général, avec une application étendue des progrès importants réalisés dans la préparation des matières premières et avec une application généralisée des appareils de distillation les plus perfectionnés.

Le matériel exposé dans la classe 50 comprend, avec l'outillage employé dans la production industrielle de l'alcool proprement dit et des rhums, celui dont on fait usage pour la distillation du vin, des marcs de raisins, des cidres, fruits, etc.

Il doit être réparti en deux catégories distinctes que nous allons examiner successivement en passant en revue chacune des expositions particulières et sans nous préoccuper de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations de la distillation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Matériel pour la fabrication de l'alcool et des rhums.

MM. Savalle fils et Cie (Paris). La maison Savalle, universellement connue par les perfectionnements qu'elle a apportés dans les appareils de distillation, a, par une très importante exposition dans la classe 50, rappelé les principaux spécimens du matériel qu'elle construit.

Si, pour produire des alcools de qualité supérieure et d'une finesse irréprochable, il est nécessaire que la préparation des matières premières et la fermentation soient faites avec les plus grands soins et suivant les règles que la science a tracées, il est non moins indispensable, pour extraire l'alcool contenu dans les produits de la fermentation, que les appareils employés soient conçus pour effectuer, dans la plus grande mesure possible, la séparation de l'alcool vinique des impuretés auxquelles il est généralement associé.

Les appareils de distillation perfectionnés et notamment les rectificateurs de la maison Savalle ont depuis longtemps résolu ce difficile problème dans la mesure du possible.

Les Expositions de 1867 et de 1878 nous ont montré tous les perfectionnements que l'industrie de l'alcool doit à cette maison, et nous retrouvons dans les appareils qu'elle a exposés dans la classe 50 l'ensemble de tous ces perfectionnements.

Le matériel exposé par la maison Savalle comprend notamment un appareil de distillation continue accouplé avec un puissant rectificateur. L'un et l'autre étaient installés sur une élégante charpente en fer munie d'escaliers qui permettent l'accès à toutes les parties de ces appareils. Cette charpente supporte en outre les bacs d'alimentation.

Les chaudières de ces deux appareils sont munies de serpentin de chauffe, et ne présentent rien de particulier si ce n'est cependant les dispositions prises pour effectuer le chauffage du rectificateur à l'aide des vapeurs d'échappement de l'usine.

Les colonnes qui surmontent ces chaudières sont à section rectangulaire, et les plateaux de distillation qu'elles comportent sont munis de barboteurs à lumière également rectangulaire. Ces plateaux sont divisés par des cloisons longitudinales, qui, donnant lieu à une circulation très active du liquide dans lequel barbotent les vapeurs, augmentent considérablement la puissance de distillation de chaque plateau.

Indépendamment des condenseurs, chauffe-vins, analyseurs et réfrigérants nécessaires au fonctionnement de ces appareils, chacun de ceux-ci est muni d'un régulateur imaginé par M. Savalle pour établir dans les colonnes de distillation un régime de pression déterminé, et muni en outre de l'éprouvette également imaginée par lui pour recueillir l'alcool qui sort des appareils, et en mesurer le débit.

La condensation des vapeurs d'alcool dans les analyseurs et les réfrigérants exige un volume d'eau considérable que, dans certains cas, il est difficile de se procurer. Pour obvier à cet inconvénient, M. Savalle a adopté des dispositions particulières, qui, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'aide d'un puissant ventilateur, lui permettent de remplacer l'eau par un courant d'air ambiant activement entretenu et qui suffit pour assurer la condensation des vapeurs.

A côté des puissants appareils de distillation exposés par cette maison, on trouvait également un appareil de dimensions réduites dont la colonne comporte tous les perfectionnements de celle des grands appareils, et qui est conçu pour le traitement des vins et des cidres.

L'un de ces petits appareils est chauffé à feu nu, et l'autre est chauffé à la vapeur. Ces deux appareils sont à distillation continue.

La maison Louis Fontaine (Lille), qui a pris part à toutes les transformations que l'industrie de l'alcool a reçues depuis plus de cinquante ans, et qui, dans les grandes Expositions internationales, nous a montré de nombreux spécimens du matériel spécial qu'elle construit, a présenté dans la classe 50 un ensemble important d'appareils pour la distillation et la rectification de l'alcool et notamment :

1° *Une colonne à distiller* avec tous ses accessoires. Les plateaux de cette colonne sont garnis de calottes sphériques, dont les bords, au lieu d'être lisses comme c'est l'usage, sont dentelés d'une façon spéciale afin de diviser la vapeur et d'assurer plus complètement son contact avec le liquide à épuiser.

Le tronçon supérieur, disposé en brise-mousses, comporte une série de chicanes destinées à retenir les gouttelettes de liquide entraînées par les vapeurs d'alcool.

Le régime de pression est assuré à la façon ordinaire par un régulateur spécial qui, au lieu d'être en communication directe avec la chambre de chauffe de la chaudière de la colonne, communique avec cette chambre par l'entremise d'un réservoir de vapeur formant une ceinture intérieure dans cette chambre de chauffe. Cette disposition a pour but d'éviter l'introduction dans le régulateur du liquide épuisé de son alcool et dont la viscosité pourrait entraver le bon fonctionnement de ce régulateur.

Le débit de cette colonne à distiller est réglé automatiquement par un régulateur dont le jeu est dépendant du degré d'épuisement du liquide à distiller.

2° *Un rectificateur discontinu* complet. La colonne de ce rectificateur comporte les dispositions qui viennent d'être indiquées dans l'appareil précédent.

La chaudière est munie d'un ensemble de robinets disposés de façon à éviter les erreurs de chargement et de vidange, qui sont occasionnées quelquefois par l'emploi d'un robinet unique à trois voies.

Dans cet appareil comme dans tous les rectificateurs ordinaires, les opérations de la rectification se font par chargements successifs de flegmes, et sont nécessairement intermittentes.

3° *Un rectificateur continu*. Afin d'obtenir une rectification continue des flegmes et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de produire également, d'une manière continue, de l'alcool dépouillé des impuretés que la rectification ordinaire élimine, la maison Louis Fontaine a imaginé une disposition spéciale d'appareils qui donne au problème de la rectification continue une solution pratique couronnée par un réel succès.

Pour atteindre le but, le rectificateur dont il s'agit comprend deux appareils conjugués.

Le premier fonctionne à la façon des appareils ordinaires à distiller; comme eux il se compose d'une colonne à plateaux montée sur une chaudière. Il reçoit les flegmes sur le plateau supérieur, les épure par une distillation strictement suffisante pour éliminer les alcools de tête, c'est-à-dire les impuretés plus volatiles que l'alcool éthylique, et les flegmes ainsi épurés s'écoulent d'une façon continue dans la chaudière de ce premier appareil, d'où ils passent dans l'appareil suivant où se terminera la rectification.

Ce deuxième appareil se compose d'une colonne ordinaire à rectifier montée sur un cylindre formant chaudière et dans lequel sont ménagés quelques plateaux de distillation. Le tronçon inférieur de cette chaudière reçoit le serpentin de chauffe.

Les flegmes épurés dans le premier appareil sont reçus d'une manière continue sur le plateau supérieur de la chaudière. Les vapeurs d'alcool qui s'en dégagent sont rectifiées à la façon ordinaire dans la colonne qui surmonte cette chaudière, et les flegmes ainsi distillés arrivent à la partie inférieure de la chaudière dépouillés de la totalité de l'alcool qu'ils contenaient, et ensuite s'écoulent au dehors.

Les vapeurs d'alcool qui se sont dégagées des flegmes à leur entrée dans la chaudière, sont un mélange d'alcool éthylique et d'alcools de queue ou impuretés qu'il est indispensable d'éliminer.

Par le jeu de la rectification qui se produit sur les plateaux de la colonne, et aussi par les rétrogradations, ces impuretés sont recueillies sur les plateaux supérieurs, d'où on les extrait en mettant l'un de ces derniers en communication avec un réservoir qui déverse son trop-plein dans la partie inférieure de la chaudière.

Par l'ensemble de ces dispositions, la rectification des flegmes s'effectue avec une production continue d'alcool de qualité supérieure, et dans d'excellentes conditions d'économie.

M. Égrot (Paris). La maison Égrot, par l'importance de ses établissements, par les perfectionnements qu'elle a apportés dans la construction du matériel de distillation, s'est acquis une grande réputation. Ses appareils sont recherchés par les distillateurs et sont très répandus à l'étranger.

L'importante exposition de cette maison dans la classe 50 a mis en relief les principaux spécimens du matériel qu'elle construit, parmi lesquels on remarque des appareils pour la distillation et la rectification des alcools, le matériel de la fabrication des liqueurs et aussi des appareils pour le traitement et la conservation des vins.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On remarque également à côté de ce matériel général pour la distillation une série très complète et très belle d'appareils soigneusement construits pour la fabrication des conserves et pour la cuisine à la vapeur.

Le matériel pour la production des alcools comprend dans son ensemble un appareil de distillation continue et un appareil de rectification disposés de chaque côté d'un très beau pylône en fer donnant accès à toutes les parties des appareils et supportant les bacs d'alimentation.

Ces deux puissants appareils, dont la construction est irréprochable, comportent des dispositions particulières qui sont dues à M. Égrot.

L'appareil de distillation continue, employé pour la distillation des vins, des jus de canne et des mélasses, est très répandu, surtout à l'étranger, où il est très apprécié pour la régularité de son fonctionnement et la bonne qualité des produits qu'il donne.

La disposition intérieure des plateaux force le vin à parcourir un chemin très long en rencontrant un grand nombre de bouilleurs cylindriques très petits, ce qui permet d'obtenir un épuisement complet de ce vin avec un petit nombre de plateaux et constitue une des principales particularités de cet appareil.

L'appareil de rectification ne diffère que dans ses détails des appareils déjà connus. La chaudière rectangulaire est construite de façon que le liquide qu'elle contient soit porté à l'ébullition sur une faible épaisseur par un serpentin de vapeur enroulé dans un plan horizontal. Par les dispositions prises, la vaporisation se fait avec une très grande régularité et sans occasionner le moindre entraînement de liquide.

Les plateaux de la colonne comportent une série de calottes annulaires chevauchées, qui permettent de réduire sensiblement sa hauteur tout en adoptant un grand nombre de plateaux, et à l'aide de cet appareil on obtient des alcools rectifiés extra-neutres et d'une grande finesse.

A côté de ces grands appareils de distillation, M. Égrot en avait exposé plusieurs autres de dimensions réduites et appropriés à la production des eaux-de-vie de vin, de marc, cidres, fruits, etc.

Parmi ces appareils spéciaux, on remarquait un nouvel alambic brûleur à bascule, très simple dans son ensemble et fonctionnant à feu nu.

Cet appareil comprend d'importants perfectionnements. Le nettoyage et la vidange sont facilités par une disposition spéciale du fourneau qui permet de vidanger la chaudière complètement en la renversant en avant. En outre la condensation des vapeurs est obtenue d'une façon rationnelle et méthodique, en vue d'économiser, dans la plus grande mesure possible, l'eau nécessaire à cette condensation et qui souvent fait défaut là où s'effectue la distillation. A cet effet l'eau provenant du réfrigérant des produits liquéfiés, et dont la température est peu élevée, est répandue en pluie fine sur la partie de l'appareil qui contient les vapeurs alcooliques et produit la condensation de ces vapeurs. Le condenseur est aménagé de telle sorte que le distillateur puisse faire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

retourner à la chaudière les premiers produits et ne laisser couler à l'éprouvette que des eaux-de-vie parfaitement rectifiées et marquant 60 degrés et plus s'il est besoin.

Cet alambic très simple remplace avantageusement les antiques chaudières qui en général ne peuvent fournir des eaux-de-vie qu'après deux ou plusieurs repassages.

L'exposition de M. Égrot comprenait également un spécimen du matériel des fabriques de liqueurs, représenté par un laboratoire complet composé du générateur à vapeur, des alambics et des bassines comportant d'intéressants perfectionnements de détail. Cette exposition comprenait aussi un conge de fabrication mécanique, de création nouvelle, et qui permet de fabriquer de toutes pièces, en moins de cinq minutes, une pipe de liqueurs.

Enfin M. Égrot a exposé aussi un appareil pasteurisateur du système Houdart et qu'il construit pour le traitement des vins, en vue d'éviter leur altération.

MM. Warein et Defrance (Lille), dans une exposition très importante, ont présenté différents spécimens des machines et appareils qu'ils construisent pour les distilleries en général.

On y remarquait notamment :

Une installation complète de matériel pour la cuisson des grains et autres matières amylacées en vue de les préparer à la saccharification par le malt ou par les acides.

La cuisson s'opère en vase clos, par la vapeur et sous haute pression, ce qui permet d'amener à l'état d'empois, et en peu de temps, la totalité de l'amidon contenu dans les matières à traiter.

Le matériel exposé se compose d'un cuiseur vertical, système Henze, conjugué avec un broyeur ou dépeleur rotatif, et d'une cuve destinée à recevoir les produits de la cuisson.

Le broyeur rotatif entretient dans le cuiseur un mouvement très actif de la matière à réduire à l'état d'empois, et après l'opération terminée il envoie les produits dans la cuve destinée à les recevoir.

Quand la saccharification doit avoir lieu par le malt, c'est dans cette cuve qu'elle est conduite, et celle-ci est, à cet effet, munie d'agitateurs et des autres accessoires indispensables.

On remarquait également, dans l'exposition de MM. Warein et Defrance, une imposante installation d'appareils à distiller et à rectifier l'alcool.

Ces appareils, avec tous les accessoires secondaires, tels que régulateur de pression, chauffe-vins, condenseurs, réfrigérants, etc., étaient complètement montés sur une très belle charpente en fer qui supportait les bacs d'alimentation, et qui, par ses escaliers, permettait l'accès de toutes les parties des appareils.

L'appareil à distiller construit par MM. Warein et Defrance est exposé par MM. Collette (Auguste et René), qui réclament les dispositions particulières que cet appareil présente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le chauffage de la chaudière est assuré par un faisceau tubulaire; cette chaudière ne présente rien de particulier.

La colonne, qui est à section rectangulaire, comporte des plateaux disposés en forme de chicanes; chacun d'eux est formé d'une plaque de cuivre perforée dont trois côtés sont rivés sur la colonne et le quatrième côté, qui ménage la lumière de circulation en chicanes, est recourbé en dessous pour former un rebord dentelé.

Par suite de l'ensemble des dispositions adoptées, cette colonne peut fonctionner remplie de moûts plus ou moins épais.

La forme des plateaux facilite la circulation des moûts et par la division qu'elle occasionne dans les vapeurs qui montent, ils assurent une distillation très active.

En sortant de la colonne, les vapeurs d'alcool, avant de se rendre au réfrigérant, traversent un chauffe-vins à billes très ingénieusement disposé. Les flegmes obtenus sont à un degré très élevé.

MM. Warein et Defrance ont également exposé un rectificateur très bien étudié dans toutes ses parties. La chaudière est munie d'une surface de chauffe suffisante pour utiliser les vapeurs d'échappement. La colonne est cylindrique. Les plateaux sont à perforation.

Ce rectificateur ne diffère que par quelques détails des appareils similaires connus.

M. Kyll (Cologne), qui s'est acquis une réputation méritée dans la construction du matériel de distillation, avait exposé une installation complète de machines et appareils pour le travail des grains dans une distillerie agricole.

L'ensemble de ce matériel comprend notamment un cuiseur, une cuve de saccharification et un appareil à distiller.

Le cuiseur fonctionne à la vapeur à haute pression. Il est vertical et repose sur un bâti en fer qui porte également la machine motrice, les pompes et la transmission du broyeur-dépeleur rotatif conjugué avec le cuiseur.

La cuve de saccharification est munie d'agitateurs actionnés par la transmission du dépeleur.

Tous ces appareils, très bien agencés, occupent un emplacement restreint, et sont montés sur un même bâti indépendant des murs de l'établissement.

L'appareil à distiller est du système Ilgès. La chaudière et les appareils de condensation ne présentent rien de particulier. La colonne comporte une série de barboteurs obliques à rebords cannelés et faisant office de plateaux. Le moût descend de barboteur en barboteur et rencontre sur son chemin les vapeurs qui montent et qui l'épuisent de son alcool. Aucun obstacle ne s'opposant à la circulation des moûts dans la colonne, ils peuvent être plus ou moins épais, sans inconvénient.

M. Paul Barbier (Paris), qui pendant longtemps a été le principal collaborateur de M. Champonnois, auquel l'industrie de l'alcool est redevable de nombreux perfec-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tionnements, a fondé une maison importante pour la construction du matériel de distillation. Dans l'exposition qu'il a organisée dans la classe 50, on remarquait notamment les plans et spécimens réduits :

D'une installation de presses continues, pour extraire le jus de betteraves, préalablement réduites en pulpe par l'action d'une râpe. La pulpe, qui reçoit deux pressions successives, est macérée à la vinasse après la première pression.

D'une macération-diffusion, également pour l'extraction du jus de betteraves. La macération est faite à la vinasse d'après le procédé Champonnois, dans des vases ouverts conjugués à la façon des diffuseurs de sucrerie. La vidange des cossettes se fait instantanément par le fond des vases.

D'une distillerie complète, qu'il a construite, et dans laquelle l'extraction du jus des betteraves est effectuée par les procédés de diffusion appliqués dans les sucreries. Cette distillerie, très bien conçue dans son ensemble, comporte d'excellentes dispositions pour la surveillance du travail.

En outre, M. Barbier a exposé un appareil de distillation continue dont la chaudière est chauffée par un faisceau tubulaire dans lequel circule la vapeur. Le tronçon supérieur de la colonne comporte un chauffe-vins auquel est annexé un concentrateur tubulaire, dans lequel, sous l'action d'un filet d'eau, les vapeurs d'alcool sont dépouillées d'une partie de la vapeur d'eau qu'elles entraînent, afin d'obtenir des flegmes d'un haut degré.

A côté de ce matériel de distillation, on remarque également un tamis à six pans très bien construit et destiné aux amidonneries et aux féculeries.

La Compagnie de Fives-Lille (France), à côté de son exposition considérable de matériel destiné à la fabrication du sucre, avait présenté un appareil de distillation construit d'après les principes adoptés par la maison Savalle. Il diffère cependant des appareils de cette maison par la chaudière qui est indépendante de la colonne, et dont le chauffage est effectué par un faisceau tubulaire. Cette disposition excellente permet un nettoyage facile de la chaudière.

Cet appareil, dont la construction est très soignée, est disposé dans son ensemble et dans ses détails pour la distillation des mélasses de canne, c'est-à-dire pour produire des rhums et des tafias.

La Société des anciens établissements Cail avait, elle aussi, fait figurer dans son imposante exposition de matériel de sucrerie une colonne à distiller, destinée comme la précédente au traitement des mélasses de canne; cette colonne est le type des nombreux appareils de ce genre que cette puissante maison a installés dans les colonies.

Le chauffage de la chaudière est effectué par un serpentin. La colonne montée sur la chaudière comporte une série de plateaux munis de barboteurs à section rectangulaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La circulation du liquide sous les barboteurs est assurée par des cloisons ménagées à cet effet.

Cet appareil très bien construit est disposé de façon à pouvoir au besoin fonctionner pour la rectification des rhums et des tafias.

M. Durin, ingénieur chimiste (Paris), avait présenté dans l'exposition collective de l'Association des chimistes un appareil à rectifier, de dimensions réduites, et dont la colonne proprement dite diffère essentiellement de celle des appareils connus.

La chaudière, dont le chauffage est assuré par un serpentin à la façon ordinaire, porte à sa partie supérieure un diaphragme perforé sur lequel repose la colonne de distillation; celle-ci, de forme cylindrique, renferme une série d'ailettes creuses soudées sur un tube central.

Ces ailettes, réparties autour du tube, ont la hauteur de la colonne; elles sont remplies de perles ou billes en feldspath comprimé et vitrifié et dont le diamètre est d'environ 5 millimètres.

La partie inférieure des ailettes est en communication avec la chaudière du rectificateur par le diaphragme perforé, et la partie supérieure débouche dans une coupole qui termine la colonne et qui, par une tuyauterie convenablement agencée, communique avec le condenseur et le réfrigérant de l'appareil.

Les vapeurs formées dans la chaudière ne s'engagent que dans les ailettes où elles se condensent en partie par rayonnement sur les billes. Cette condensation est en outre régularisée par un courant d'eau froide qui traverse le tube central de haut en bas, et dont la vitesse est réglée suivant les besoins de la condensation; un thermomètre, placé dans le courant d'eau, indique la température, et par suite l'intensité de cette condensation.

Le liquide provenant de la condensation des vapeurs d'alcool descend de perles en perles dans la chaudière en s'appauvrissant de plus en plus, et les vapeurs d'alcool rectifié montent dans la coupole d'où elles s'écoulent dans le condenseur et le réfrigérant.

Par l'ensemble des dispositions adoptées, la surface de contact des vapeurs et du liquide alcoolique à rectifier est considérable, et cet ingénieux appareil doit assurer une épuration rapide et profonde des flegmes qui lui sont soumis. Il ouvre, à la construction des appareils de rectification, une voie nouvelle, dans laquelle l'industrie de l'alcool pourra trouver la source d'importants progrès.

Outre les grands appareils de distillation qui figuraient dans la classe 50, pour la fabrication industrielle de l'alcool, d'autres appareils, ayant pour but d'améliorer la qualité des produits obtenus, de contrôler le travail et de traiter les résidus en vue d'en obtenir les matières importantes qu'ils contiennent, ont également pris place dans le matériel général de la distillerie exposé dans cette classe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Épuration des flegmes. — Les alcools ou flegmes qui proviennent immédiatement de la distillation des moûts de grains, de betteraves, de pommes de terre ou de mélasses sont toujours, et malgré tous les soins apportés au travail, un mélange d'alcool vinique, d'aldéhydes et d'alcools propyliques, butyliques, amyliques et autres désignés sous le nom générique d'huiles essentielles, c'est-à-dire un mélange d'alcool vinique et d'impuretés très complexes et d'autant plus abondantes que les soins apportés à la fermentation ont été moins grands.

La rectification des flegmes a pour but de faire sortir l'alcool vinique de ce mélange, car il est le seul qui soit propre à la préparation des eaux-de-vie et des boissons en général.

Les impuretés associées à l'alcool jouissent de propriétés particulières ; c'est ainsi que les aldéhydes ont un point d'ébullition inférieur à celui de l'alcool, tandis que les autres impuretés ont un point d'ébullition qui lui est supérieur; en outre certaines impuretés sont insolubles dans l'alcool dilué.

La rectification ordinaire utilise ces propriétés en formant des alcools de tête qui contiennent les aldéhydes et les éthers, et les alcools de queue dans lesquels on trouve les huiles essentielles. Les alcools du cœur de la rectification sont assurément composés en très grande partie d'alcool vinique, mais ils contiennent encore des traces d'aldéhydes et d'huiles essentielles qui altèrent leur saveur et leur donnent une odeur désagréable. En outre les alcools de queue et les alcools de tête ont entraîné avec eux une proportion importante d'alcool vinique que des rectifications successives ne dégageront qu'en partie. On conçoit donc aisément que la façon ordinaire de travailler entraîne avec elle, quoi que l'on fasse, une perte importante d'alcool vinique.

Pour améliorer le travail de la rectification, on a tenté différents procédés ayant pour but d'épurer les flegmes avant de les soumettre à la rectification finale.

La plupart de ces procédés, c'est-à-dire ceux qui font intervenir des agents chimiques qui, en fait, s'ils détruisent les aldéhydes et aussi certaines huiles essentielles, engendrent presque toujours des produits secondaires donnant à l'alcool une odeur et une saveur désagréables ; d'autres procédés, basés sur l'emploi de l'électricité pour ozoniser l'oxygène de l'air employé à oxyder les impuretés et à leur faire subir ainsi une transformation qui leur enlève leurs propriétés nuisibles, n'ont pas jusqu'à présent donné des résultats aussi satisfaisants qu'on pouvait l'espérer.

Enfin un nouveau procédé de traitement des flegmes par des hydrocarbures de pétrole, dont la mise en pratique est relativement récente, paraît devoir donner des résultats supérieurs à ses devanciers.

Mais un procédé d'épuration des flegmes qui est déjà ancien et qui a jusqu'à présent donné des résultats satisfaisants est celui de la filtration de ces flegmes sur du charbon de bois d'essence non résineuse.

Cette filtration s'effectue généralement par un procédé méthodique dans une batterie de filtres convenablement disposée.

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le pouvoir absorbant du charbon sur les impuretés est absolument certain, mais il est faible et il en résulte que pour produire un effet déterminé d'épuration, il faut employer une volumineuse batterie de filtres, dont l'installation est encombrante et coûteuse. Malgré ses inconvénients, ce procédé d'épuration est le plus usité.

MM. Dreyfus frères (Paris) ont observé que le charbon de bois imbibé d'huile et préalablement dépouillé de l'air qu'il contenait, afin que l'huile pénètre dans tous ses pores, avait un pouvoir épurant très grand. Ils ont en outre remarqué que l'activité de l'épuration et son action sur les huiles essentielles étaient d'autant plus grandes qu'il y avait moins d'aldéhydes dans les flegmes.

Ils ont été conduits ainsi à construire un appareil, exposé dans la classe 50, et qui se compose d'une batterie de cinq filtres peu volumineux, conjuguée avec une pompe à vide utilisée non seulement pour dépouiller le charbon de l'air qu'il contient, mais aussi pour rétablir le vide dans le réservoir qui contient les flegmes, et amener la volatilisation des aldéhydes et des éthers.

Ainsi préparée, cette batterie de filtres fonctionne à la façon des batteries similaires, et les inventeurs assurent que les résultats obtenus sont satisfaisants.

Appareil pour mesurer la puissance des levures. — M. Billet, de Marly-lès-Valenciennes, qui s'est signalé par les perfectionnements qu'il a apportés dans l'industrie de l'alcool, avait exposé un appareil très ingénieusement combiné pour mesurer la puissance fermentescible des levures.

Cet appareil, auquel M. Billet a donné le nom de « Levuro-dynamomètre », se présente sous la forme d'un aréomètre plongé dans une éprouvette remplie d'eau maintenue à la température de 30 degrés.

L'aréomètre, dont la panse est relativement volumineuse, est terminé à sa partie supérieure par un évasement en forme d'entonnoir.

La levure à essayer est introduite dans la panse de l'instrument et mélangée avec un volume déterminé d'une solution sucrée type, qu'elle met en fermentation.

L'activité de cette fermentation est mesurée par l'amplitude du déplacement de l'instrument et par la rapidité de ce déplacement. La tige de l'aréomètre est graduée pour faciliter les observations.

M. Billet emploie le même instrument pour mesurer la quantité de sucre fermentescible contenue dans une solution sucrée. A cet effet, il introduit dans l'aréomètre la solution à analyser avec de la levure en excès, et l'amplitude du déplacement de l'instrument dans l'éprouvette mesure le volume d'alcool produit.

Traitement des résidus de la distillation. — Les résidus de la distillation renferment évidemment tous les éléments des matières premières employées, moins l'amidon et le sucre qui ont servi à produire l'alcool; et comme les matières azotées et minérales

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'ont pas été modifiées par la fermentation, et qu'elles se retrouvent dans les drêches, celles-ci ont conservé une grande partie de la valeur nutritive des matières premières employées.

Si la saccharification de ces matières a été faite par le malt, les résidus sont immédiatement utilisables pour la nourriture du bétail; mais si cette saccharification a été faite par les acides, les résidus, pour être utilisés, doivent subir un traitement généralement coûteux, et s'ils sont inutilisés, ils constituent pour le distillateur une source d'embarras et de difficultés.

Ces résidus, quand ils proviennent du traitement des maïs, contiennent une importante quantité d'huile qu'il est intéressant d'extraire.

Il existe différents procédés pour effectuer cette extraction. Ceux qui ont été généralement mis en pratique consistent à sécher et à pulvériser les résidus, puis à les soumettre aux opérations usitées dans les huileries.

Les tourteaux ainsi obtenus et dépouillés en partie de leur huile ont encore une grande valeur nutritive pour l'engraissement du bétail. Cette valeur, jusqu'ici, n'a pu être conservée à ces tourteaux que dans le cas où l'extraction de l'huile s'est faite par pression.

Cependant on a observé que quand l'extraction est faite par le sulfure de carbone convenablement épuré, non seulement l'extraction de l'huile est plus complète, mais le résidu final de l'extraction est parfaitement utilisable pour la nourriture du bétail.

Et comme le traitement des drêches joue un rôle important dans le prix de revient de l'alcool de grains et notamment dans celui de l'alcool de maïs, on conçoit que cette question industrielle ait donné lieu à beaucoup de solutions.

MM. Donard et Contamine ont exposé le spécimen réduit d'un ensemble d'appareils qu'ils ont conçus pour le traitement des drêches de maïs et qui peut être appliqué également pour extraire l'huile des matières oléagineuses en général.

Le procédé qu'ils emploient consiste à faire agir sur l'huile un dissolvant, puis à extraire la dissolution par un déplacement méthodique.

Le dissolvant employé est l'essence de pétrole bouillant entre 60 et 80 degrés.

La dissolution étant obtenue est distillée pour en dégager l'essence de pétrole et mettre l'huile en liberté.

L'essence de pétrole ainsi distillée est condensée pour servir de dissolvant à nouveau.

MM. Donard et Contamine, ayant observé que l'extraction de l'huile était d'autant plus complète que la matière à traiter contient moins d'eau, et d'autant plus rapide que cette matière est moins dure, ont combiné l'ensemble de leurs appareils en conséquence, c'est-à-dire que la matière à traiter est d'abord desséchée, puis soumise au dissolvant.

Afin d'obtenir un résidu poreux, la dessiccation se fait dans le vide.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le dessiccateur employé est conjugué avec une pompe à vide dont le condenseur absorbe les vapeurs qui se dégagent de la dessiccation.

Ce dessiccateur est formé d'un grand cylindre métallique, monté sur un arbre creux et animé d'un mouvement de rotation très lent.

Le chauffage se fait à la vapeur. A cet effet, le cylindre est muni intérieurement d'un faisceau tubulaire. La vapeur de chauffe arrive par l'arbre creux disposé également pour assurer l'évacuation des produits de la condensation de ces vapeurs.

En sortant de ce dessiccateur, la matière est introduite dans l'appareil de déplacement.

Cet appareil est composé de deux réservoirs clos dans lesquels s'effectue la dissolution de l'huile.

Ces réservoirs sont montés sur un plancher en fer. En dessous de chacun d'eux se trouve une chaudière close munie à sa partie inférieure d'un serpentin de chauffe.

Enfin entre les deux réservoirs se trouve un bac contenant un serpentin avec lequel ils sont reliés l'un et l'autre. Ce serpentin peut également être mis en communication avec l'une ou l'autre des chaudières, à volonté.

En outre, les chaudières sont munies de tuyauterie qui relie chacune d'elles avec le réservoir en dessous duquel elle est placée.

L'appareil étant en marche, l'un des réservoirs rempli de matière est en traitement, tandis qu'on remplit l'autre de matière fraîche.

Le liquide, qui sort par le fond du réservoir en marche, traverse le serpentin dans lequel il se refroidit par l'action d'un courant d'eau établi dans le bac qui contient ce serpentin, et s'écoule dans la chaudière placée sous l'autre réservoir. Ce liquide étant composé d'eau et d'une solution d'huile et de pétrole, très légère, celle-ci surnage.

Dans la chaudière placée sous le réservoir en activité, se trouve également un mélange d'eau, d'huile et de pétrole provenant d'une opération antérieure. Par le chauffage du serpentin de cette chaudière, l'essence de pétrole se volatilise et est conduite par une tuyauterie spéciale à la partie supérieure de ce réservoir, où un serpentin réfrigérant la liquéfie. Ramenée à l'état liquide, cette essence de pétrole traverse la matière à épuiser d'huile, dissout l'huile et s'écoule par le fond du réservoir.

L'opération continue ainsi jusqu'à complet épuisement de la matière à traiter, puis, s'il y a lieu, la distillation de l'essence de pétrole contenue dans la chaudière en service continue de façon à éliminer les dernières traces d'essence et l'opération est terminée.

On vide le réservoir; la matière qui en sort, très riche en azote, est utilisée pour la nourriture du bétail ou pour la fumure des terres.

On vide également la chaudière à distiller dans un vase florentin d'où l'huile qui surnage est facilement extraite.

L'autre réservoir étant rempli de matière fraîche, et la chaudière à distiller égale-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment alimentée d'huile et d'essence de pétrole provenant de l'opération qui vient de finir, une autre opération peut commencer.

Appareil pour régulariser la distribution et la pression de la vapeur, dans les appareils à distiller. — Il est important, pour le bon fonctionnement des appareils de distillation que le régime de pression sous lequel ils fonctionnent soit établi avec une exactitud parfaite.

Pour obtenir ce résultat, MM. Legat et Herbet (Paris) ont exposé plusieurs appareils dus à M. Legat, et qui sont tous très ingénieusement conçus et irréprochablement construits.

Parmi les appareils de cette maison, on remarque un « régulateur de pression » dont la construction repose sur l'emploi d'un obturateur équilibré, insensible aux variations de pression, et relié à une membrane métallique extensible qui joue le rôle de piston.

Cet appareil, très répandu, a rendu déjà de nombreux et d'importants services.

MM. Legat et Herbet ont exposé en outre plusieurs appareils pour régler automatiquement l'emploi de la vapeur, et aussi un purgeur à soupape équilibrée, qui assure l'évacuation automatique de la condensation des vapeurs employées pour le chauffage par serpentin ou par surface tubulaire.

M. Becker (Beaumont-sur-Oise) a exposé un régulateur de pression dans les colonnes à distiller. Cet appareil, qui présente des dispositions nouvelles, fonctionne avec une grande précision.

M. Meeus (Louis) (Belgique) a exposé une maquette représentant son usine de Wyneghem-les-Anvers qu'on doit incontestablement compter au nombre des plus belles et des plus importantes distilleries du monde.

Le but de l'exposition de M. Louis Meeus est de faire ressortir le système d'irrigations qu'il a adopté pour utiliser dans une vaste prairie dépendant de son usine les eaux rejetées par la fabrication et qui contiennent beaucoup de matières fertilisantes.

Les résultats obtenus, qui sont excellents, sont consignés dans un savant mémoire et sont représentés en tableaux graphiques annexés à ce mémoire. Ils font honneur à ce grand industriel.

MATÉRIEL POUR LA FABRICATION DES EAUX-DE-VIE, DES LIQUEURS, ETC.

La classe 50, outre le matériel de distillation que nous venons d'examiner, renfermait un grand nombre d'appareils fixes ou portatifs, pour la production des eaux-de-vie de vins, de marc, de raisin, de fruits, etc.

M. Égrot (Paris) avait fait figurer dans son importante exposition de matériel de distillation, que nous avons examinée précédemment, plusieurs spécimens des appareils qu'il construit spécialement pour la fabrication des eaux-de-vie et des liqueurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette maison, dont la notoriété est très grande, est au premier rang des constructeurs de ce genre d'appareils.

M. Brehier (Paris), dans l'exposition qu'il avait organisée, présentait à côté de plusieurs appareils pour la concentration du lait, la cuisson des marrons, la pasteurisation des vins, des appareils de distillation parmi lesquels on remarquait :

Un laboratoire complet pour la fabrication des liqueurs et qui se compose d'un générateur de vapeur, des bassines et de l'appareil à distiller dans lequel le réfrigérant en surélévation sur le récipient des flegmes permet de ne laisser couler à l'éprouvette que des produits irréprochables.

Un appareil à cuire, à concentrer ou à distiller dans le vide. — Cet appareil, conjugué avec la pompe à vide, est chauffé au bain-marie. Le couvercle supérieur est creux et reçoit un courant d'eau qui produit par condensation un commencement d'analyse des vapeurs formées dans la chaudière, et ne laisse s'écouler dans le serpentin que des vapeurs riches en alcool.

Un appareil à distiller les bois odoriférants auquel M. Brehier a annexé un condenseur de son système, c'est-à-dire composé de lentilles en cascades.

Les dispositions adoptées dans la construction de ce condenseur mettent à l'abri des engorgements que l'on évite difficilement avec les serpentins.

Un siphon indésamorçable. — Ce siphon du système Brelin, perfectionné par M. Brehier, fonctionne d'une façon remarquable.

M. Deroy fils aîné (Paris), dans une très belle et très importante exposition, avait mis en relief les spécimens des nombreux appareils qui sont construits dans son établissement et parmi lesquels on remarquait :

Un appareil à distillation continue formé de deux tronçons à joints hydrauliques et dans lequel les plateaux lenticulaires ainsi qu'une lentille de rectification permettent, par les grandes surfaces que ces plateaux présentent, de produire rapidement l'épuisement du liquide à distiller et d'obtenir une eau-de-vie de degré élevé.

Un appareil à distiller dans le vide. — Cet appareil est conjugué avec une pompe à vide analogue à celle qui est employée pour effectuer le serrage des freins de chemin de fer. Les vapeurs d'alcools, avant d'arriver dans la pompe, sont condensées dans un serpentin multiple.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un alambic brûleur, dans lequel les vapeurs formées dans la chaudière sont, avant d'arriver dans le serpentin, dépouillées d'une partie de la vapeur d'eau qu'elles entraînent. A cet effet le chapiteau de la chaudière est presque plat et recouvert par une toile constamment humectée par l'eau tiède qui provient du réfrigérant. L'évaporation qui se produit sur ce couvercle emprunte à l'intérieur beaucoup de calories, et produit par conséquent un refroidissement qui, en occasionnant la condensation d'une partie de la vapeur d'eau, ne laisse sortir de la chaudière que des vapeurs riches en alcool. Cette disposition permet d'activer considérablement l'opération de la distillation.

Un alambic brûleur à lentille. — Cet alambic est construit comme le précédent; mais il est destiné à distiller des matières peu riches en alcool. Dans ce but, et pour diminuer la durée de l'opération, il est muni d'une lentille de rectification, et il comporte aussi un chauffe-vin, monté sur le réfrigérant et qui dépouille au passage les vapeurs d'alcool d'une partie de la vapeur d'eau entraînée.

Outre tous ces appareils, M. Deroy a exposé un outillage formant laboratoire pour la fabrication des liqueurs, des alambics à bain-marie et aussi un grand nombre de petits appareils de démonstration qui peuvent être utilisés pour des essais de distillation et de rectification, et qui sont les spécimens réduits des appareils qu'il construit.

M. Chauveau (Paris) avait exposé un appareil très bien construit et destiné à la distillation du vin. Les plateaux sont facilement démontables et permettent un nettoyage rapide de l'appareil. La vidange est disposée de telle sorte qu'il ne peut sortir que des vinasses épuisées.

M. Leturcq (Florentin) (Paris) avait exposé le spécimen réduit d'un appareil à distillation continue. Les dispositions prises pour assurer le bon fonctionnement de cet appareil sont très ingénieuses.

MM. Hervé et Moulin (Bordeaux), qui construisent beaucoup d'appareils pour la distillation et la production des eaux gazeuses, ont exposé un appareil à distiller, dont la colonne présente des dispositions particulières.

Cette colonne, montée sur une chaudière ordinaire, comporte deux plateaux à perforation. Entre ces deux plateaux, un autre plateau plein supporte en son milieu un appareil formant chicanes et dans lequel les vapeurs qui doivent nécessairement le traverser en passant du plateau inférieur au plateau supérieur abandonnent une partie de la vapeur d'eau qu'elles ont entraînée.

L'eau provenant de la condensation s'écoule au dehors par une tuyauterie ménagée à cet effet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les vapeurs d'alcool enrichies par la condensation qui s'est produite sont recueillies dans le réfrigérant.

M. Joya (Joanny) (Grenoble) a exposé un appareil pour distiller les marcs de raisin. Dans cet appareil la chaudière est indépendante des vases de distillation. Une ingénieuse disposition est prise pour faciliter le démontage du couvercle de ces vases et pour permettre un nettoyage rapide. L'ensemble est monté sur un châssis mobile.

M. Greffe à Tullins (Isère) avait présenté également un appareil mobile pour la distillation des eaux-de-vie, appareil dans lequel les dispositions générales sont excellentes pour faciliter le démontage et le nettoyage.

M. Beaupied (Joseph) (Bruxelles) a proposé un appareil à distiller dont il a exposé un modèle réduit et qui ne présente aucune particularité importante à signaler.

M. Prud'hon (Luis) (Valparaiso) avait exposé un alambic soigneusement construit et très bien conçu pour assurer un bon fonctionnement et un nettoyage facile.

Appareils à pasteuriser les vins. — Bien que ces appareils ne rentrent pas dans le cadre du matériel ordinaire de l'industrie de l'alcool, et que l'examen des appareils similaires pour la pasteurisation des bières ait été fait dans un autre rapport, nous signalerons en quelques mots les pasteurisateurs plus spécialement conçus pour le traitement des vins.

M. Landé (Alexandre) (Libourne) avait présenté un appareil remarquablement étudié pour chauffer les vins d'après le système Pasteur et leur conserver leur bouquet.

M. Philippi (Jacques) (Chambéry) avait également exposé un pasteurisateur construit très ingénieusement pour le traitement des vins, et aussi pour la pasteurisation du lait.

M. Égrot (Paris) avait également présenté un appareil à pasteuriser, construit d'après le système Houdart, et qui a déjà été mentionné dans l'examen de l'exposition de ce constructeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL DE LA BRASSERIE ET DE LA VINAIGRERIE

RAPPORT

PAR

M. ÉGROT

MANUFACTURIER

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VI.

MATÉRIEL DE LA BRASSERIE ET DE LA VINAIGRERIE.

La brasserie, qui, depuis quelques années, a fait de si rapides progrès, par l'emploi de nouvelles méthodes de fabrication, ne tient pas une place bien importante à la classe 50. On est quelque peu étonné de voir qu'une industrie si prospère, pleine de vigueur, qui se transforme chaque jour, soit représentée à la section mécanique d'une manière qui réponde si mal aux progrès accomplis et surtout à la tendance bien accentuée vers le développement et le perfectionnement d'un outillage jusqu'ici très incomplet.

Pour avoir une idée exacte de ce qu'est aujourd'hui la brasserie française, il faut se transporter à la classe 73, section des bières, où sont exposés les plans et les vues en relief des principales installations et transformations faites depuis l'Exposition universelle de 1878.

Ces installations, établies en vue de la fabrication de la bière à fermentation basse, la plus appréciée du consommateur, renferment tous les procédés nouveaux de préparation et de cuisson à la vapeur, de culture et de sélection du ferment et de production économique du froid. Certaines même comprennent le maltage pneumatique, dont l'invention, due à un Français, M. Nicolas Galland, était à ses débuts en 1878. Depuis, il s'est propagé surtout en Allemagne, où il est devenu d'un emploi général.

C'est sur ces principes que sont établies les grandes brasseries de Tourtel, à Tantonville; de Cirier-Pavard, à Saint-Germain-en-Laye; de la Comète, à Châlons-sur-Marne; de la Méditerranée, à Marseille, etc.

La seule *installation d'ensemble* exposée à la classe 50 est celle de M. Henri Carpentier, de Paris; elle correspond à une production journalière de 30 hectolitres de bière.

Le chauffage de tous les appareils s'effectue par la vapeur. La *cuve-matière* carrée à angles arrondis est à double enveloppe pour le chauffage à vapeur; l'agitateur, placé au centre, est formé de palettes, dont l'inclinaison, variable, devient d'autant plus forte, que la saccharification est plus avancée. Ce dispositif simple permet de réaliser une petite économie de force motrice. Les deux *chaudières de cuisson,* montées sur un bâti en bois, n'ont rien de spécial, si ce n'est la disposition du chauffage du double fond, établi de telle sorte que les vapeurs condensées retournent directement au générateur, ce qui augmente la puissance de chauffe de ce double fond.

Le refroidissement du moût s'opère en vase clos dans un bac *rafraîchissoir à fermeture hydraulique* par le passage d'un liquide incongelable dans une double enveloppe, de façon qu'en sortant de ce bac, le moût soit à la température de fermentation.

L'oxydation indispensable pour obtenir une fermentation régulière et complète se fait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par l'envoi d'air stérilisé, qui traverse le bac, dans lequel tournent des disques circulaires, en tôle perforée, qui offrent une surface énorme de refroidissement. Le moût, en même temps qu'il se refroidit, se clarifie et les dépôts sont enlevés par une soupape de vidange placée au point le plus bas. Cet appareil remplace donc le bac rafraîchissoir et le réfrigérant employés habituellement.

MM. Geneste, Herscher et Cie, de Paris, exposent un *ventilateur* et un *dégoudronneur*. Le ventilateur est employé pour l'aération des salles de fermentation et pour la germination de l'orge dans le système pneumatique. Le dégoudronneur à air chaud, dont l'usage est général, a permis de supprimer le travail coûteux et ennuyeux du défonçage des fûts. Par l'effet de l'air porté à haute température et envoyé avec une grande vitesse dans les fûts, le goudron se liquéfie à la surface et tous les ferments sont détruits. L'entraînement de l'air chaud, produit par le foyer de coke, se fait par un petit injecteur de vapeur sous pression.

M. Dalbouze, de Paris, a perfectionné le *dégoudronneur* par l'addition d'un serpentin surchauffeur. Le dégoudronneur exposé est disposé pour servir d'un côté aux petits fûts et de l'autre aux grands foudres.

MM. Marillier et Robelet, de Paris, présentent un *filtre à bière* sous pression d'air de *Stockheim* pour la clarification de la bière. La clarification a lieu au travers d'une masse filtrante en cellulose; cette masse filtrante peut être extraite et renouvelée avec facilité.

La Compagnie industrielle des procédés Raoul Pictet, de Paris, montre *l'appareil Kuhn* pour la *pasteurisation de la bière*.

Cet appareil est à marche intermittente et les opérations de chauffage et de refroidissement s'effectuent dans les mêmes organes, composés d'une double enveloppe et d'un serpentin placé à l'intérieur du vase clos, contenant la charge de bière à pasteuriser.

Le chauffage s'opère par circulation d'eau chaude et le refroidissement par le passage d'eau de source ou de puits et ensuite par circulation de liquide incongelable, dont l'action énergique a pour effet de rendre à la bière sa propriété primitive.

De cette façon les bières faiblement alcooliques, étant filtrées et passées à l'appareil *Kuhn*, sont garanties de toute altération et peuvent être, sans emploi d'antiseptiques, transportées en fûts stérilisés à la vapeur ou par méchage.

M. Philippi, de Chambéry, expose un *appareil* à marche continue *pour la pasteurisation* de tous les liquides par le chauffage et le refroidissement à l'abri de l'air; cet appareil s'emploie également pour la bière et lui conserve sa proportion de gaz acide carbonique, ce qui est capital.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Baudelot-Migeon, d'Haraucourt (Ardennes), a exposé le *réfrigérant* à tubes elliptiques, que tous les brasseurs connaissent; il n'offre aucune particularité sur les types en usage, qui fonctionnent d'ailleurs très bien.

M. Baptiste, de Darney (Vosges), montre un *lave-copeaux* pour brasseries d'un mécanisme simple.

M. Coquelle, de Paris, présente une série de *robinets* d'une exécution parfaite à l'usage des brasseries.

La Société des brasseries de la Méditerranée, de Marseille, expose de petits appareils de démonstration pour l'application des *procédés Velten* à la fabrication de la bière d'après les principes de M. Pasteur. On peut suivre toutes les précautions prises, depuis les premières opérations jusqu'à et y compris la fermentation, pour n'employer que de l'air absolument pur et éviter l'introduction des germes de l'air. Les beaux résultats obtenus dans la pratique par l'application en grand sont la meilleure preuve de la valeur de cette méthode.

M. Lauth, de Carcassonne, a envoyé le dessin d'une *touraille* de son invention pour le séchage et le touraillage du malt en couches épaisses par insufflation d'air chaud. L'avantage de cette touraille sur celle à un ou deux plateaux est la suppression des ouvriers employés au pelletage, opéré dans une atmosphère étouffante et malsaine. M. Lauth affirme, en outre, que l'emploi de ventilateurs diminue fortement la dépense de combustible.

M. Pinchart-Deny présente une collection de *plaques métalliques perforées* employées pour les plateaux de tourailles et les cuves-matières.

MM. Jay et Jallifier, de Grenoble, montrent un *appareil Magnat* pour le *débit des bières* en utilisant à la compression de l'air la pression de l'eau dans les villes qui possèdent une distribution d'eau. La pompe à air se trouve supprimée; elle n'est d'ailleurs presque plus employée et a fait place au gaz acide carbonique.

Fabrication du vinaigre.

MM. Agobet et C^ie^, d'Arcueil, présentent toute l'industrie mécanique de la *fabrication du vinaigre* avec leur méthode par vaisseaux tournants, qui permet d'acétifier tous les liquides alcooliques. Ces vaisseaux tournants s'emploient pour la méthode orléanaise et pour la méthode allemande; ils ont l'avantage d'offrir une surface de contact toujours renouvelée entre l'air et le liquide alcoolique et de supprimer la main-d'œuvre nécessaire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à la manipulation du liquide. Avec la méthode rapide sur copeaux de hêtre, le hêtre est employé en lames larges et minces pour augmenter les surfaces de contact.

MM. Agobet et Cie ont exposé également une trémie spéciale pour la fermentation des vins en vase clos. Cet appareil est destiné à empêcher le contact de l'air avec les marcs et facilite l'utilisation du gaz acide carbonique provenant de la fermentation.

MM. Bernard, Noël et Cie, de Paris, présentent pour le bouchage des bouteilles une *fermeture spéciale* très ingénieuse, qu'ils appellent écran de sûreté et qui est destinée à garantir contre la fraude le fabricant et le consommateur. Cet écran de sûreté, qui adhère d'une manière définitive au goulot de la bouteille, est disposé de telle sorte qu'il est impossible d'y introduire la moindre goutte de liquide. La fraude qui consiste à vendre des liquides frelatés ou inférieurs dans des bouteilles portant les marques des maisons renommées se trouve ainsi supprimée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINES À PRODUIRE LE FROID ET LA GLACE

RAPPORT

PAR

M. BARRIER

INGÉNIEUR DES SERVICES ADMINISTRATIFS DE LA GUERRE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VII.

MACHINES À PRODUIRE LE FROID ET LA GLACE.

LES APPAREILS FRIGORIFIQUES ET LEURS APPLICATIONS.

La production et l'utilisation du froid artificiel ont pris depuis l'Exposition de 1878 une importance et une extension si considérables que la construction et l'exploitation des appareils frigorifiques constituent de nos jours une véritable industrie qui s'est spécialisée d'une façon absolue, sinon en France, au moins dans certains pays étrangers tels que l'Angleterre, l'Allemagne et l'Amérique, au même titre que la construction des machines à vapeur.

Si l'on veut bien remonter de vingt ou trente années en arrière et établir un parallèle entre l'état actuel de cette industrie et sa situation en 1860, année où M. Carré construisait sa première machine à éther, en 1875, année qui vit apparaître la machine à acide sulfureux de M. Pictet, l'on ne pourra manquer d'être frappé de la rapidité et de l'importance des progrès réalisés aussi bien que de la valeur pratique des résultats obtenus qui sont tous du plus haut intérêt. L'on peut dire même que l'ère est maintenant ouverte où le froid artificiel promet d'être utilisé aussi facilement et d'une façon aussi générale que la chaleur à la satisfaction de nos besoins privés comme à celle des besoins industriels. Son emploi se répand chaque jour partout où une température basse, une atmosphère pure et sèche sont les conditions indispensables d'un fonctionnement sûr, régulier et économique, partout où les fermentations ou les altérations des substances organiques doivent être ou graduées, ou ralenties, ou supprimées.

Si la fabrication de la glace et le refroidissement des caves et cuves de brasseries, qui constituaient en 1878 à peu près les deux seules applications, déjà remarquables et assez répandues, de l'emploi du froid artificiel, se sont généralisés et continuent chaque jour à se développer, les procédés qui les réalisent ne semblent plus du moins susceptibles de grands progrès et de transformations notables. En brasserie, l'emploi du liquide incongelable froid pour le refroidissement des locaux ou des matières en fermentation est généralement substitué à l'emploi de la glace. Celle-ci n'est plus guère fabriquée qu'en vue de sa consommation directe comme boisson qui est passée à l'état d'habitude, quelquefois même de nécessité, dans les pays chauds, et tous les efforts des constructeurs tendent uniquement à assurer une production régulière, rapide et peu

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coûteuse en améliorant les appareils de démoulage et en réduisant au minimum le personnel nécessaire. Ces deux branches de l'industrie du froid paraissent donc arrivées à leur dernier degré de perfectionnement.

Il n'en est pas de même de l'application plus récente, nous pourrions même ajouter la plus importante aujourd'hui, du froid industriel à la conservation des denrées alimentaires et particulièrement des viandes. Cette industrie, qui date de 1874, époque à laquelle M. Tellier faisait ses premiers essais, n'a pris réellement son essor qu'en 1879 au moment où les premières machines à air étaient installées sur les navires destinés au transport de viandes exotiques. Depuis cette époque, le chemin parcouru dans cette voie est très vaste ; la question du refroidissement des locaux de conservation, et partant du refroidissement de l'air, a fait dans ces dernières années l'objet des études les plus suivies et les plus intéressantes, des expériences les plus nombreuses, des solutions les plus originales et les plus variées de la part des industriels et des constructeurs. Nous ne saurions cependant affirmer que le problème de la production et de la distribution de l'air froid et sec soit encore résolu d'une façon parfaite, quoique les services rendus à l'alimentation soient déjà considérables.

L'impulsion donnée à la construction des machines et appareils frigorifiques depuis 1878 a été le corollaire obligé du développement rapide des applications industrielles du froid. Alors qu'il y a une vingtaine d'années quelques constructeurs renommés, mais en petit nombre, s'occupaient de la fabrication de ces appareils, l'on pourrait compter aujourd'hui, tant en France qu'à l'étranger, une centaine de constructeurs qui fabriquent des engins de cette nature.

Pour satisfaire aux débouchés plus nombreux, inespérés même, qu'ont ouverts les nouvelles applications du froid artificiel et notamment le commerce des viandes frigorifiées, des types nouveaux de machines ont été créés, en même temps que pour obtenir les froids les plus intenses et les températures plus basses considérés comme nécessaires dans ce dernier cas, des liquides nouveaux de plus en plus volatils ont été utilisés comme agents producteurs du froid.

L'importance des applications devenue plus grande a entraîné l'augmentation de la puissance des machines. Les types construits aujourd'hui produisent jusqu'à 1,500 et même 2,000 kilogrammes de glace à l'heure ou leur équivalent en calories négatives, alors qu'une machine de 500 kilogrammes était, il y a quinze ans, considérée comme une exception. La construction des types les plus puissants est devenue aujourd'hui courante ; ce n'est plus, comme pour les machines à vapeur, qu'une question de dimensions.

La concurrence établie sur une plus grande échelle a eu comme conséquence la diminution du prix des machines.

Les modifications apportées aux types déjà anciens et les améliorations réalisées dans les types les plus récents ont eu également pour but de les approprier aux besoins de la grande industrie. Les études faites dans cette voie ont abouti à un double résultat. En

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

premier lieu, elles ont permis de déterminer plus exactement les avantages et les inconvénients inhérents à l'emploi de tel ou tel gaz et d'obtenir une préparation industrielle plus économique des agents employés. Elles ont assuré en même temps la simplification des engins, le maniement et l'accès faciles de tous les organes du mécanisme, la réduction du nombre des pièces délicates et de l'encombrement de l'ensemble des appareils, la sécurité contre les accidents, l'étanchéité contre les fuites, le refroidissement des organes de compression, la solidité de la construction plus précise et plus soignée, toutes circonstances se traduisant en pratique par un fonctionnement plus régulier, un rendement organique plus élevé et une moindre consommation d'eau et de combustible.

Enfin certains constructeurs ne craignent plus d'utiliser pour la production du froid l'acide carbonique qui donne des puissances différentielles de 50 à 60 atmosphères, alors qu'il y a dix ans les pressions de 15 atmosphères développées par les machines à ammoniaque étaient considérées comme dangereuses. L'emploi de pressions aussi considérables suffit pour démontrer à quel degré de perfectionnement est arrivée, à notre époque, l'exécution des moindres pièces de ces machines qui sont cependant d'invention relativement récente.

Pour dresser le bilan de l'industrie du froid en 1889, nous aurons donc, au cours de ce rapport, non seulement à constater les modifications ou perfectionnements apportés aux types de 1878, mais aussi à décrire les types beaucoup plus nombreux, les applications les plus intéressantes et les méthodes de refroidissement les plus remarquables qui se sont fait jour pendant ces dix dernières années.

L'Exposition de 1889 (classe 50) a d'ailleurs, en ce qui concerne la production et l'utilisation du froid, présenté un intérêt réel en ce sens qu'elle a mis sous les yeux du public un résumé à peu près complet des divers types d'appareils employés aujourd'hui dans cette industrie.

Nous aurons cependant à examiner certains appareils qui figuraient dans d'autres classes que la classe 50 et à donner quelques indications sur certains autres qui, par suite de circonstances particulières, n'ont pu figurer à l'Exposition, malgré les demandes d'admission présentées par leurs inventeurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PREMIÈRE PARTIE.

PROCÉDÉS DE PRODUCTION ARTIFICIELLE DU FROID.

Les procédés de production artificielle du froid peuvent être répartis en deux groupes principaux : les procédés *chimiques*, les procédés *physiques ou mécaniques*.

Les premiers sont uniquement basés sur l'emploi des mélanges dits *réfrigérants*. Ceux-ci, composés de plusieurs substances, dont une au moins est nécessairement solide, produisent l'abaissement de température par le fait même de l'absorption de la chaleur latente indispensable pour réaliser le travail de fusion ou celui de dissolution du corps solide dans le liquide.

Parmi les procédés du second groupe, certains reproduisent littéralement l'expérience de Lesly, à savoir : la production du froid à l'aide du vide seul opéré sur la surface d'un liquide plus ou moins volatil. L'action d'une pompe pneumatique facilite l'émission des vapeurs qui peuvent être, ou absorbées par un réactif susceptible de régénération comme l'acide sulfurique, ou simplement rejetées dans l'atmosphère.

Si l'on réfléchit aux inconvénients notables que présentent ces procédés : dépense de matières fréquemment renouvelées et coûteuses, manipulations dangereuses, insécurité des opérations, complication et délicatesse des appareils à faire le vide, etc., l'on voit qu'il faut renoncer sans hésitation aucune, malgré la promesse d'un rendement supérieur, à l'idée d'appliquer en grand ces procédés aux usages industriels.

Il semble donc bien établi que l'emploi des procédés chimiques et des appareils à vide doit rester limité aux usages domestiques, principalement à la fabrication de petites quantités de glace, cas où la question du prix de revient ne joue qu'un rôle secondaire.

Les seuls procédés du second groupe susceptibles de procurer un froid intense, en quantités importantes, d'une façon régulière et peu coûteuse, employés d'ailleurs exclusivement aujourd'hui dans la grande industrie, sont ceux qui méritent de fixer l'attention, sinon uniquement, au moins en premier lieu et d'une façon toute particulière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS INDUSTRIELS DE PRODUCTION DU FROID.

On sait que ces appareils reposent tous sur un principe général qui est le suivant :

Un fluide élastique quelconque étant donné, on le comprime en dépensant une certaine quantité de travail développée par une force extérieure de nature variable. La compression détermine dans le fluide une diminution de volume et par suite un accroissement de température et de pression. L'élévation de température est détruite par un courant d'eau froide mis en contact prolongé avec le fluide comprimé. Si on laisse alors celui-ci se détendre de façon à reprendre son volume initial, il produira un certain travail qui n'est autre, théoriquement, que la transformation de la quantité de chaleur dépensée pour le comprimer.

Il subira par conséquent un abaissement considérable de température aux dépens de sa chaleur interne. Mais comme le corps qui l'environne est à température plus élevée, il s'établira rapidement entre eux un équilibre de température par voie d'échange; la quantité de chaleur abandonnée par le corps et qui constitue le refroidissement produit par l'appareil sera recueillie par le fluide froid qui se trouvera alors entièrement ramené à son état initial au point de départ du cycle.

De ce qui précède découle, entre autres, cette conséquence : tout appareil à froid doit comprendre trois organes principaux : un compresseur, un refroidisseur et un détendeur-réfrigérant.

Nous aurons pour chaque machine à faire l'étude de ces trois organes, cette étude seule permettant, par les sérieux éléments d'appréciation qu'elle peut fournir, d'établir une comparaison pratique entre les divers types exposés.

CLASSIFICATION DES MACHINES FRIGORIFIQUES.

La principale distinction à établir entre les machines frigorifiques découle de la nature même du fluide qu'elles mettent en œuvre. Ces fluides se répartissent en trois catégories :

1° Gaz incondensables, au moins aux pressions limites de la pratique;
2° Gaz ou vapeurs liquéfiables;
3° Gaz solubles dans l'eau ou dans toute autre substance.

Les machines exposées se divisent donc en trois classes :

1° Machines à air;
2° Machines à vapeurs liquéfiables;
3° Machines à affinité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les machines faisant partie des deux premières classes peuvent être réunies en un seul groupe sous le nom de machines *à compression mécanique*, le second groupe comprenant les machines *à affinité*. Dans un classement différent, ces dernières, jointes aux machines à vapeurs liquéfiables, formeraient un nouveau groupe dit *à bases chimiques*, les premières restant groupées sous leur nom propre de *machines à air*.

Nous étudierons successivement chacun de ces groupes en nous efforçant de faire ressortir aussi nettement que possible, outre la nature et les caractères des agents utilisés comme producteurs du froid, les avantages et les inconvénients qui résultent de leur emploi, les points spéciaux qui caractérisent chacune des machines ou des appareils exposés, et surtout les dispositions adoptées et les perfectionnements réalisés dans le but de conformer dans la plus large mesure le fonctionnement et le travail de ces appareils aux exigences de la théorie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINES À COMPRESSION MÉCANIQUE.

1° MACHINES À AIR.

L'air est le gaz incoercible le plus généralement employé pour la production directe du froid. On peut se le procurer partout et sans aucune dépense; son emploi ne présente aucun danger, aucune difficulté de manœuvre ou de conduite. Il n'entraîne ni mécanisme compliqué, ni organe délicat qui puisse être la cause de perturbations plus ou moins fréquentes, plus ou moins graves dans le fonctionnement de la machine, ni intermédiaire (liquide ou surface métallique) qui absorbe une partie du froid produit et diminue d'autant le rendement. Les températures qu'il permet d'obtenir sont très basses et de beaucoup inférieures à celles que fournissent les machines à bases chimiques, sauf celles à acide carbonique, mais, à l'inverse de ces dernières, ces températures très basses sont obtenues avec l'air sans que les pressions de marche soient très élevées. Ces pressions, réglables à volonté, sont d'ailleurs absolument indépendantes de la température de l'eau refroidissante. De plus c'est un fluide élastique parfait : dès que la force qui a produit la compression disparaît, il reprend son volume primitif en restituant théoriquement le travail dépensé pour le comprimer. Enfin l'air froid produit à basse température est chimiquement pur et directement utilisable pour tous les usages industriels quand il est sec. Il semble donc que cet agent offre les conditions, sinon les plus économiques, au moins les plus avantageuses pour la production du froid.

En réalité il n'en est point ainsi et pour plusieurs raisons.

La première résulte de ce que l'effet utile est loin d'être proportionnel à l'accroissement de la pression de marche, car il est limité par les hautes températures qui se développent à la compression et font croître d'autant le travail résistant. Il y a donc, avec l'air, nécessité de combattre d'une façon continue l'excès de chaleur correspondant au travail élémentaire de compression de façon à rendre celle-ci isotherme. D'un autre côté, la température finale décroît très vite à mesure que le degré de détente augmente. Il s'ensuit que le rendement diminue rapidement pendant que la pression de marche croît lentement et qu'en pratique le terme de 4 atmosphères ne peut être dépassé sans augmenter dans une proportion énorme le prix de revient de la frigorie obtenue. Dans ces conditions l'abaissement de température est encore de 70 à 80 degrés différentiels. Des températures plus basses auraient d'ailleurs l'inconvénient d'entraîner la congélation des huiles de graissage et peut-être de suspendre la marche des appareils.

En second lieu, la production du froid au moment de l'expansion du gaz détermine la congélation de la vapeur d'eau contenue dans l'air. La neige ainsi produite se dé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pose sur les parois de l'appareil détendeur et sur celles des tuyaux de sortie. Il en résulte, outre la gêne apportée au fonctionnement des organes, une perte assez notable d'énergie frigorifique. La chaleur latente de congélation dégagée augmente la température finale de l'air détendu en même temps que la chaleur négative de la neige déposée dans les conduites demeure inutilisée.

L'humidité contenue dans l'air constituant le plus grand obstacle au fonctionnement économique et régulier des machines, bien des moyens (nous en décrivons quelques-uns plus loin) ont été employés pour la combattre.

Tous ont pour but de refroidir l'air avant son entrée au détendeur à une température suffisante pour déterminer la précipitation de la vapeur d'eau en pluie ou en neige, cette précipitation étant activée le plus souvent par des moyens mécaniques. Mais l'état hygrométrique de l'air admis au détendeur ne saurait être, dans aucun cas, inférieur à celui qui correspond à la température et à la pression du fluide à l'entrée de l'appareil. De là, la nécessité d'interposer entre le détendeur et les locaux à refroidir, à la sortie de l'air, une caisse dite *boîte à neige* dans laquelle l'air dépose son givre au contact de chicanes de forme convenable et convenablement distribuées. Ce givre est évacué périodiquement.

De plus, il est avantageux dans le même but de fonctionner le plus souvent possible à cycle fermé, c'est-à-dire de travailler avec la même masse d'air successivement aspirée, comprimée et détendue et, par suite, déjà desséchée lors de ses premiers passages dans la machine.

La troisième cause, qui influe également d'une façon très marquée sur le rendement, réside dans l'exagération des espaces nuisibles. Il y a lieu de remarquer, en effet, qu'en raison du peu de conductibilité de l'air et de sa faible chaleur spécifique, il est nécessaire d'opérer sur des volumes relativement considérables pour obtenir les quantités de frigories nécessaires ordinairement dans la pratique de la réfrigération industrielle. D'où la nécessité de donner aux appareils de compression et de détente des dimensions souvent exagérées, beaucoup plus fortes que celles des machines à gaz liquéfiables, et, comme conséquence, des espaces nuisibles et aussi des résistances passives tels que le rendement organique de la machine atteint à peine 80 p. 100. Cette influence des espaces nuisibles peut se chiffrer à elle seule par une perte de 100 calories par cheval-heure théorique.

Enfin la circulation de l'air dans les différentes conduites de la machine et les étranglements par les orifices de distribution correspondent à autant de frottements ou pertes de charge qui peuvent être converties en pertes de chaleur ou de froid. C'est donc seulement une partie du travail de compression qui peut être restituée au moment de la détente.

Ces considérations générales font prévoir d'une façon bien nette, d'une part, l'infériorité très accentuée que doit présenter le rendement pratique des machines à air sur le rendement théorique et indiquent, d'autre part, les points principaux sur lesquels

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les constructeurs ont dû diriger tous leurs efforts, c'est-à-dire le refroidissement progressif et le séchage de l'air comprimé et la réduction au minimum des espaces nuisibles.

Nous allons examiner les résultats obtenus.

Machine Giffard.

La machine Giffard, brevetée en 1873, peut être, avec celle de Windhausen (1869), considérée comme le prototype de toutes les machines à air construites depuis cette époque, notamment en Angleterre, et en particulier des machines Hall.

Un exemplaire de cette machine produisant par heure 522 mètres cubes d'air froid à — 30 degrés avec une force motrice consommée de 15 chevaux figurait à l'Exposition de 1878 où il a été très remarqué.

Suivant les usages et l'emplacement auxquels elle est destinée, la machine Giffard peut présenter des formes variées; elle peut être horizontale, verticale ou à cylindres inclinés, avec moteur placé sur le même socle ou avec moteur indépendant. Le cylindre moteur, dans certains types marins, est monté sur un bâti en porte à faux et à angle droit avec les cylindres compresseur et détendeur. Le refroidisseur et le réservoir d'air sont verticaux et adossés à la paroi du navire. Dans le type horizontal à grand débit, le piston moteur est monté sur le prolongement de la tige du piston compresseur; le condenseur, le réservoir et la pompe à eau sont dans le même socle.

Le type vertical est aujourd'hui le plus répandu et le seul qui se construise d'une façon courante. La machine exposée par M^me^ veuve Warin, constructeur à Saint-Waast-la-Haut (Nord), au Palais des produits alimentaires (classe 72), où elle fonctionnait pour la fabrication des sorbets, appartenait à ce type qui est à moteur indépendant.

Il se compose de deux cylindres à simple effet conjugués par des manivelles à 90 degrés et logés sur un même socle évidé, en fonte, dont la paroi supérieure supporte les cylindres par leur collerette. Ce socle peut être enterré ou placé au-dessus du sol. L'intérieur est facilement accessible au moyen de portes ménagées dans les parois. Les deux manivelles sont calées aux deux extrémités d'un arbre porté par deux supports en fonte, en forme d'arcades, fixés sur le socle. La commande est faite au moyen d'un jeu de poulies (fixe et folle) monté entre les deux arcades.

Les cylindres, ouverts à leur partie supérieure, ont le même diamètre, mais les courses des pistons sont différentes. Le cylindre compresseur est à double enveloppe avec circulation d'eau. Il est raccordé par son extrémité inférieure à une boîte cylindrique formant fond; cette boîte est partagée en deux compartiments par une cloison médiane, l'un portant la tubulure d'aspiration et renfermant la soupape correspondante, l'autre portant les organes analogues du refoulement. Les deux tubulures sont juxtaposées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On sait que les soupapes sont une des parties les plus délicates des machines à air. M. Giffard et son concessionnaire ont apporté les plus grands soins dans la construction de ces organes dont la disposition est nouvelle.

Les deux soupapes du compresseur fonctionnent automatiquement sans le concours d'aucun mouvement extérieur. Elles sont constituées par des disques en acier très légers, à bord conique, reposant par une seule ligne de contact sur des sièges en bronze vissés dans les épaulements des orifices de la boîte. Elles ne sont donc pas assujetties à des détériorations provenant de la chaleur et elles réduisent les espaces nuisibles au minimum. Les disques sont montés sur des tiges qui glissent dans des douilles de guidage; des ressorts tendent, l'un à écarter la soupape d'aspiration de son siège, l'autre à ramener sur son siège la soupape de refoulement. Les tiges sont également pourvues de rondelles de caoutchouc qui amortissent les chocs quand les soupapes reviennent à leur position primitive. La pression du ressort de refoulement est réglée au moyen d'un bouchon évidé et perforé qui porte la douille et peut se visser dans le cylindre également évidé qui forme le siège de la soupape. Ce réglage se fait en enlevant le fond de la boîte de distribution qui est simplement maintenu par des boulons.

Le cylindre de détente est sans enveloppe, mais porte un fond qui loge les soupapes et leurs sièges. La boîte rattachée au fond est aussi partagée en deux compartiments portant des tubulures opposées, l'une d'admission de l'air comprimé, l'autre d'échappement de l'air détendu. La soupape d'aspiration est un disque à bord cylindrique avec siège en caoutchouc durci qui amortit les chocs dus à la pression de l'air. Celle du refoulement est semblable à celles des compresseurs; son arête tranchante peut découper la glace qui tendrait à se déposer sur le siège qui est également en bronze. Les deux soupapes sont munies d'une longue tige guidée; celle du refoulement passe dans un presse-étoupe de cuir embouti rendu étanche par la pression même de l'air; celui-ci s'introduit par les orifices d'une garde en bronze qui maintient le cuir. Elles sont desmodromiques, c'est-à-dire commandées mécaniquement à l'aide de deux leviers, l'un horizontal, l'autre à tringle verticale, par des cames montées sur un manchon fixé sur l'arbre et venant appuyer sur le fond des fourches portées par le petit bras du levier coudé. Les cames sont réglables de façon à permettre de régler à volonté le degré d'admission et de détente.

Cette disposition est d'ailleurs adoptée par la plupart des constructeurs de machines à air. On peut ainsi, en tenant compte des dimensions du cylindre, varier le degré du refroidissement obtenu. De plus, cette commande mécanique a pour but d'opérer la fermeture de l'orifice d'émission de l'air avant la fin de la course du piston, de façon à atténuer l'influence des espaces nuisibles en reformant dans ceux-ci une pression égale à celle de l'air dans le refroidisseur.

Les pistons des deux cylindres sont semblables : ils sont légers, en fonte, évidés à l'intérieur, et présentent une certaine hauteur qui facilite le guidage. Le guidage de la tige actionnée par une bielle à fourche est assuré d'autre part par un prolongement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de celle-ci qui circule dans une glissière portée par un étrier boulonné sur la paroi supérieure du socle.

La garniture des pistons des machines à air demande un soin tout particulier à cause de la détérioration assez rapide qui résulte pour elle de la température élevée qui se développe pendant la compression.

Le piston Giffard réalise dans ce but une disposition très simple et en même temps très ingénieuse. Il porte sur son pourtour une rainure triangulaire assez profonde dans laquelle est encastrée à frottement dur une lanière en caoutchouc de 0 m. 010 de hauteur et 0 m. 008 d'épaisseur ou une garniture mixte, ayant les mêmes dimensions, mais composée d'une lanière intérieure en caoutchouc souple pour l'herméticité et d'une lanière en caoutchouc durci pour le frottement. Les jonctions des bandes se font par simple recouvrement en biseau. Derrière la garniture est ménagé un vide circulaire qu'une série de petits conduits verticaux, dont les orifices se trouvent dans la face travaillante du piston, mettent en communication constante avec le gaz. Celui-ci vient par sa propre pression écraser la lanière contre la paroi du cylindre. Ce système permet donc de compenser l'usure, d'obtenir une étanchéité presque absolue, de réduire la force absorbée en réduisant la surface frottante et en ne laissant subsister qu'un frottement minimum exactement proportionnel à la pression engendrée. Enfin l'entretien de cette garniture est nul et son remplacement peut être fait instantanément par le premier venu.

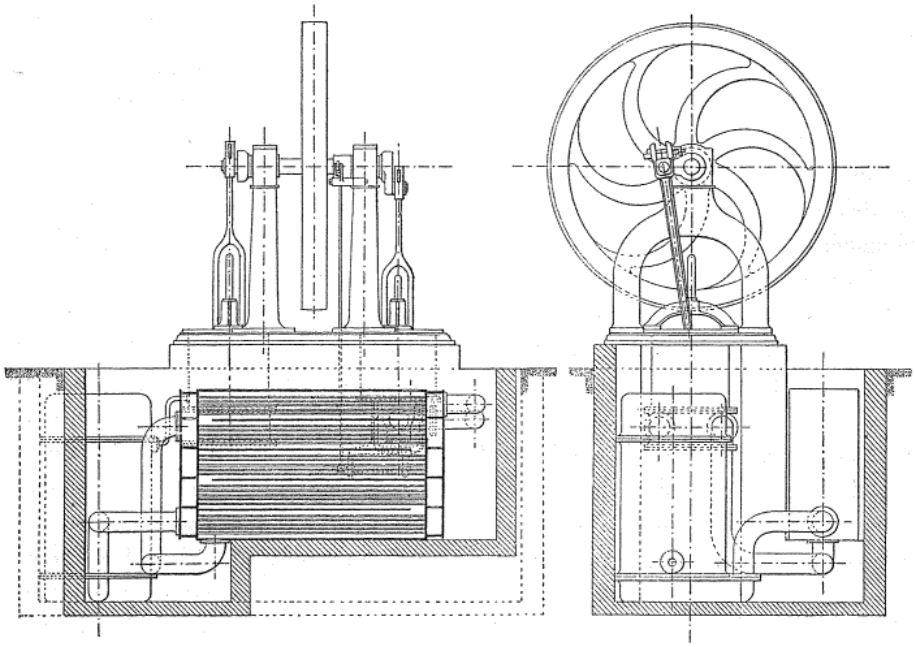
Le refroidissement complémentaire de l'air comprimé à sa sortie du compresseur est obtenu par son passage dans un refroidisseur tubulaire placé dans le voisinage immédiat de la machine, généralement à un niveau inférieur à celui du socle et en sous-sol. Cet appareil, bien conçu et simple, se compose d'un cylindre vertical en fonte avec fond supérieur et double enveloppe dont l'intervalle est occupé par un faisceau de tubes de laiton bons conducteurs et en aussi grand nombre que possible. Ces tubes dans la machine exposée ont 0 m. 012 de diamètre intérieur et sont au nombre de 200. Ils sont baignés par un courant d'eau fraîche (de puits si possible) ascendant dont l'entrée et la sortie sont placées aux deux bases du cylindre. Ce dernier est surmonté d'une boîte annulaire (sorte de demi-tore) boulonnée dans laquelle l'air comprimé arrive tangentiellement par une tubulure et se répartit entre les divers tubes pour sortir à la partie inférieure du cylindre dans une seconde boîte en communication avec l'intérieur du cylindre où l'air, refroidi à la température ambiante, s'accumule. Une soupape de sûreté, logée dans le fond supérieur du cylindre, empêche toute surélévation de pression. L'air est évacué en haut du cylindre par un tube central branché sur la tubulure d'amenée au détendeur.

Lorsque l'air froid est utilisé, soit dans des caves, soit dans tout autre local hermétiquement fermé, il est économique de réaspirer l'air déjà froid et détendu de ces locaux pour le refroidir à nouveau. Dans ce cas, le constructeur emploie un appareil complémentaire, dit récupérateur, que l'air aspiré traverse avant d'arriver au cylindre de compression.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce récupérateur, de création relativement récente et logé aussi de préférence en sous-sol devant le socle, n'est autre qu'un condenseur à surfaces. Il se compose d'une caisse en tôle bien close et horizontale; elle est divisée en trois compartiments par deux cloisons formant les plaques tubulaires dans lesquelles viennent s'encastrer un plus ou moins grand nombre de tubes répartis en plusieurs faisceaux. Les deux compartiments des extrémités sont de capacité très réduite; alternativement l'un d'eux reçoit l'air sortant du refroidisseur et le distribue au premier faisceau de tubes logés dans le compartiment central où il circule de bas en haut, tandis que l'air aspiré à température basse circule

MACHINE GIFFARD.



Récupérateur.

de haut en bas autour des tubes. Cette double circulation inverse et méthodique dans l'intérieur et à l'extérieur des tubes est réalisée par l'emploi de cloisons, longitudinales au milieu de la caisse et transversales aux extrémités, qui dirigent les deux courants en zigzag et de façon que l'air comprimé rencontre des surfaces de plus en plus froides à mesure qu'il se rapproche du détendeur. La température de l'air comprimé devenant dans le faisceau tubulaire inférieure à la température ambiante, la vapeur d'eau se condense en neige dans les tubes; on l'évacue par des robinets. L'air arrive refroidi et sec au détendeur, son état hygrométrique correspondant à sa tension et à sa température à l'entrée de ce cylindre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce mode de refroidissement, analogue à celui breveté par MM. Bell-Coleman (1869) et encore appliqué aujourd'hui par ces constructeurs, donne des résultats satisfaisants; mais de grandes surfaces sont nécessaires à cause de la faible chaleur spécifique de l'air.

La machine Giffard est remarquable par son agencement général très satisfaisant, par ses dispositions de détail simples et heureuses, son fonctionnement régulier et sans bruit. L'accès et l'entretien de tous les organes sont faciles, l'encombrement de l'ensemble est très réduit, car les pièces les plus volumineuses, le refroidisseur et le récupérateur, sont placées en sous-sol.

La machine exposée fournissait 75 mètres cubes d'air froid à — 35 degrés à la vitesse de 70 tours et à une pression de trois atmosphères. La force motrice consommée était d'environ 3 chevaux et demi et la production en glace de 10 kilogrammes à l'heure. Ce type à faible rendement est destiné à la petite industrie.

Machine Hall.

Les machines désignées sous ce nom sont construites par MM. J. et F. Hall, ingénieurs-constructeurs à Dartford, Kent (Angleterre). L'usage en est très répandu dans les entrepôts anglais destinés à la congélation ou à la conservation des viandes, dans les usines de congélation des pays d'élevage et d'abat et sur les nombreux navires qui font le transport des viandes frigorifiées.

Ce type de machines à air, de date relativement récente (1880), est un dérivé de la machine Giffard. Plusieurs modèles ont été construits. Dans le plus ancien, les cylindres du moteur, placés horizontalement, occupent le haut de la machine; les cylindres de compression et de détente, verticaux, sont disposés symétriquement de chaque côté des premiers. Les soupapes d'aspiration au compresseur et les deux soupapes du détendeur sont conduites mécaniquement au moyen d'un jeu de cames, tringles et leviers analogue à celui de la machine Giffard. Le refroidisseur à eau est semblable comme construction au récupérateur que nous avons précédemment décrit.

Dans les machines du plus petit modèle, le cylindre moteur est vertical et placé entre les deux autres.

Pour arriver à obtenir de l'air froid plus sec que celui donné par les machines précédentes, M. Lightfoot, ingénieur de la maison Hall, a imaginé de faire détendre l'air comprimé une première fois dans un petit cylindre complémentaire où il se refroidit dans le voisinage de 0 degré etdelui faire traverser un sécheur où il dépose une grande partie de son humidité avant de subir une seconde détente finale dans le cylindre détendeur proprement dit. Ce système semble préférable à celui dans lequel le refroidissement de l'air comprimé s'opère au moyen de l'air détendu provenant de la chambre froide (Giffard, Bell-Coleman), parce qu'inversement cet air détendu s'échauffe en refroidissant l'air comprimé et retourne à l'aspiration du compresseur à température plus élevée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les premières machines basées sur ce principe étaient à cylindres moteurs inclinés et cylindres compresseurs et détendeurs verticaux; l'air, après s'être rafraîchi dans un refroidisseur tubulaire à circulation d'eau, passait dans un espace annulaire aménagé autour du cylindre détendeur, puis dans un sécheur cylindrique incliné à chicanes transversales et arrivait enfin dans le détendeur d'où il sortait entièrement sec.

Aujourd'hui les machines à cylindres horizontaux sont les plus répandues. Les trois cylindres moteur, compresseur et détendeur sont toujours montés sur le même socle en fonte, mais leurs positions respectives sont différentes suivant les types. Le piston moteur peut être placé sur le prolongement de la tige du détendeur, de façon à récupérer le travail de détente, ou bien les trois cylindres sont montés parallèlement, le compresseur placé entre le moteur et le détendeur. Dans ce cas, la machine est excessivement ramassée, moins encombrante que la plupart de ses similaires et l'emplacement occupé en longueur est très réduit; aussi ce type est-il très employé à bord des navires.

Les machines verticales sont choisies, de préférence, quand l'installation est de peu d'importance ou l'espace disponible excessivement resserré. Grâce à cette disposition, l'emplacement nécessaire est moitié moindre qu'avec la machine horizontale. Ces machines sont munies d'un cylindre moteur parallèle aux deux autres, comme les machines du type horizontal, ou simplement commandées par courroie. Les cylindres dans les deux cas sont placés à la partie supérieure et l'arbre de couche est monté sur des supports boulonnés sur le sol. L'ensemble est fixé sur une large semelle de fonte que l'on peut boulonner facilement sur une paroi quelconque.

Dans toutes ces machines, les cylindres sont à double effet et par suite sont plus actifs, moins encombrants et moins coûteux que ceux à simple effet, mais aussi moins accessibles, plus difficiles à conduire, plus sujets à l'échauffement et moins durables. Le cylindre compresseur est en bronze, et, par suite, plus résistant et meilleur conducteur que la fonte et, comme il est à enveloppe d'eau, cette disposition facilite le refroidissement de l'air comprimé.

L'air, au sortir du compresseur, circule dans un ou plusieurs faisceaux de tubes logés dans le socle de la machine, en sens inverse de l'eau qui baigne ces tubes et qui est maintenue en circulation rapide par la pompe fixée sur l'un des flancs du bâti. La surface extérieure des tubes peut être facilement nettoyée par des portes mobiles boulonnées sur les petits côtés du socle. L'air comprimé à 4 kilogrammes dépose les trois quarts de son humidité dans les tubes et sa température s'abaisse de 140° environ à la température de l'eau refroidissante.

Les circulations d'eau du refroidisseur et de l'enveloppe du compresseur sont d'ailleurs indépendantes de façon que le refroidissement obtenu soit aussi intense que possible, ce qui n'est pas le cas quand le courant d'eau, qui s'est déjà échauffé dans l'un de ces organes, passe directement dans l'autre (Bell-Coleman).

Avant de parvenir au détendeur, l'air comprimé et déjà refroidi pénètre dans un appareil spécial, dit « cylindre séparateur ou trappe à eau » récemment breveté par la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

maison Hall, et qui est placé sous le détendeur en communication directe avec la boîte de distribution de ce dernier et la tubulure de sortie du refroidisseur tubulaire.

Cet appareil nous semble mériter, en raison de sa nouveauté, une description détaillée. Il se compose de deux cylindres superposés de diamètres différents. Le grand cylindre supérieur est divisé en deux compartiments. Le plus bas porte une buse raccordée au refroidisseur. Elle est à section circulaire, puis rectangulaire, avec une hauteur égale à celle du cylindre et une faible longueur. L'une de ses parois se prolonge à l'intérieur du cylindre pour former cloison de guidage et diriger l'air tangentiellement à la surface cylindrique. L'air arrivant, par cette buse, sous une pression relativement considérable et dans la direction indiquée, il se produit un mouvement giratoire pendant lequel la force centrifuge tend à faire déposer sur les parois l'humidité entraînée. L'air sec s'échappe par un orifice ménagé au centre de la cloison qui sépare les deux compartiments et rencontre dans le compartiment supérieur une cloison oblique qui le dirige par la tubulure de sortie vers le détendeur.

Le fond du cylindre inférieur porte un orifice destiné à l'évacuation de l'eau. Cet orifice est surmonté d'une soupape qu'un ressort extérieur réglable tend à maintenir constamment fermée. La soupape est prolongée à l'intérieur du cylindre par une tige filetée sur une certaine longueur qui porte un flotteur cylindrique en forme de cloche renversée. Les gouttelettes d'eau qui coulent le long de la paroi du cylindre se rassemblent au fond du récipient; l'eau s'accumule sous le flotteur et, lorsque son volume est devenu assez grand, soulève la cloche qui la laisse s'échapper au dehors. Le ressort n'a à contre-balancer que le poids de la soupape du flotteur et la pression de l'air sur la soupape. La sensibilité de l'appareil est très grande et l'évacuation de l'eau se fait d'une façon continue. En même temps qu'il devient sec, l'air subit une première et légère détente et se refroidit.

Ce procédé de séchage complémentaire est beaucoup plus simple que ceux que nous avons déjà indiqués, tout en étant plus efficace. L'air détendu doit être plus sec, car l'état hygrométrique de cet air à son entrée au détendeur est moins élevé que dans les machines concurrentes (Giffard, Bell-Coleman, etc.). Mais, en revanche, tout le travail qui, correspondant à la première détente, n'est pas récupéré et le frottement de l'air contre les parois et les cloisons du cylindre séparateur doivent tendre à le réchauffer.

La distribution de l'air aux deux cylindres se fait par des tiroirs plans, équilibrés ou non, et le plus souvent cylindriques au détendeur. Les pistons sont garnis de segments métalliques. Le graissage se fait au moyen d'un distributeur central qui alimente toutes les pièces en mouvement. Celles-ci sont toutes parfaitement accessibles. L'ensemble est rustique et la construction en est soignée.

La machine exposée au pavillon de la République Argentine, où elle servait au refroidissement de la chambre à viande de MM. Sansinena et C^ie^, était du modèle n° 6. Les trois cylindres horizontaux étaient parallèles. Elle produisait environ 370 mètres cubes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'air froid par heure à une température de 50 à 60° C. au-dessous de zéro. La force absorbée par cette machine est d'environ 28,5 chevaux-vapeur.

Nous croyons devoir signaler également les caractères principaux des autres types de machines à air qui sont employés aussi sur une très grande échelle en Angleterre et sur les navires des lignes d'Australie.

On remarquera que, dans le type de machines Hall décrit ci-dessus, comme dans la machine Giffard, la transmission du mouvement au piston compresseur se fait indirectement par un arbre de couche. Ce système, peu avantageux sous le rapport de l'encombrement, est rationnel et préférable à celui dans lequel les pistons moteur et compresseur sont calés sur la même tige. Dans ce cas, en effet, la résistance est maxima à la fin de la course du piston compresseur alors que le moteur donne son minimum de puissance puisqu'il travaille à détente.

Machine Bell-Coleman.

Dans la machine de Bell-Coleman de 1878, les compresseurs, au nombre de quatre, sont placés parallèlement et leurs pistons placés deux sur le prolongement des tiges des pistons moteurs et les deux autres sur le prolongement des tiges des pistons détendeurs; les huit cylindres forment ainsi deux rangées parallèles.

Dans le type de 1883, les pistons moteur, compresseur et détendeur sont calés en tandem sur la même tige et ce mécanisme est double, l'un des cylindres moteurs étant à haute pression, l'autre à basse pression. L'arbre de couche est en deux parties dont l'accouplement peut être réalisé ou rompu à volonté à l'aide d'un manchon. L'ensemble peut fonctionner en compound ou chacun des mécanismes isolément. La distribution se fait aux compresseurs au moyen de soupapes automatiques et aux détendeurs par des tiroirs actionnés par les excentriques des cylindres moteurs. Cette combinaison de machines permet de faire coïncider les efforts réciproques du moteur et du compresseur. Très employée sur les navires transporteurs de viande, elle offre l'avantage de parer à tous les accidents sans crainte de compromettre la conservation de la cargaison.

Tous les appareils accessoires, pompes, condenseurs, réfrigérants sont placés dans le socle, de manière à réduire au minimum l'encombrement de l'ensemble. Le refroidissement de l'air comprimé se fait au moyen d'une injection d'eau au cylindre, de façon à réduire le travail de compression, et par le passage de l'air dans un refroidisseur tubulaire. L'humidité restée dans l'air se dépose dans une boîte à neige.

Dans la première machine (1878) le refroidissement et le séchage de l'air se font d'une façon plus complète : 1° par une injection d'eau au compresseur; 2° par le passage de l'air déjà refroidi dans un saturateur refroidisseur ou colonne à plateaux perforés sur lesquels tombe de l'eau en pluie; 3° par le passage de l'air chargé d'humidité, mais refroidi à la température de l'eau dans un sécheur constitué comme le saturateur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où il dépose la plus grande partie de son humidité; 4° par le passage de l'air, en partie séché, dans un récupérateur ou condenseur à surface logé dans la chambre froide et dans les tubes duquel, sous l'influence de la basse température de la chambre, il dépose son humidité sous forme de neige que l'on évacue par un purgeur.

Ce système est très efficace, mais plus compliqué que le procédé de Hall.

Machine Haslam 1880.

Cette machine présente des particularités intéressantes. Le fond du cylindre compresseur est divisé par une cloison en deux chambres dont l'une contient deux soupapes d'aspiration et l'autre trois soupapes de refoulement. Toutes ces soupapes ont leurs sièges dans un plateau rafraîchi par un courant d'eau; elles sont automatiques, celles d'aspiration sont ramenées sur leurs sièges par des tiges à articulations sphériques, celles de refoulement par des gaines à ressort. Des regards boulonnés les rendent parfaitement accessibles.

La distribution au détendeur se fait par des tiroirs plans équilibrés à l'aide de couronnes à ressorts et commandés par des excentriques et des balanciers.

Le refroidisseur, logé dans le socle de la machine, est divisé en deux faisceaux de tubes dont l'un est parcouru par un courant d'eau et le second par une circulation, soit d'une portion de l'air froid sortant du détendeur, soit de l'air déjà échauffé venant de la chambre froide et aspiré par le compresseur.

Les machines de moyenne et de grande puissance sont à moteur Compound avec cylindres en tandem; le compresseur et le détendeur sont placés latéralement aux deux cylindres moteurs et leurs pistons conjugués sur la même tige.

Enfin dans un type plus récent, analogue au type 1883 de Bell-Coleman, les cylindres moteur, compresseur et détendeur sont placés en tandem et en double. Les deux machines ainsi constituées peuvent marcher en Compound ou séparément en cas d'accident à l'une d'elles.

Machine Lightfoot 1882.

Ce constructeur établit aussi plusieurs types. Dans le type horizontal de 600 à 1,700 mètres cubes à l'heure, le compresseur à double effet et le détendeur à simple effet sont dans le prolongement l'un de l'autre de manière à regagner une partie du travail de compression. La distribution s'y fait avec des robinets en bronze phosphoreux, peu bruyants et qui offrent l'avantage de réduire les espaces nuisibles. Le refroidisseur tubulaire est double et parcouru par un courant d'eau qui repasse dans l'enveloppe du compresseur. Le moteur, placé latéralement aux deux premiers cylindres, peut être à cylindre unique ou Compound.

Dans les machines destinées aux installations fixes et débitant plus de 1,700 mètres

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cubes, le compresseur et le détendeur sont verticaux, conjugués à simple effet et commandés par un moteur horizontal Compound. Dans les types verticaux de faible puissance, le moteur est accolé ou non aux cylindres à air; le refroidisseur est fondu avec le bâti.

En général, la construction de toutes ces machines à air est soignée et leur fonctionnement suffisamment sûr et régulier.

Machine Bustin.

M. Bustin, constructeur à Paris des appareils domestiques système Toselli, a imaginé tout récemment un nouveau système de machine frigorifique industrielle dont le premier exemplaire a été construit spécialement en vue de l'Exposition de 1889.

Cette machine est destinée, d'après l'inventeur, à produire soit du froid, soit de la glace, au moyen de l'air comprimé, dans des conditions particulières et à l'aide de dispositifs spéciaux, notamment d'une récupération raisonnée du froid permettant, à production égale, de consommer moins de force motrice qu'avec les machines actuelles du même genre.

L'on sait que dans les machines à air, il est indispensable, sous peine d'abaisser le rendement frigorifique dans des conditions inconciliables avec les bases économiques de toute installation un peu importante:

1° De combattre, d'une façon continue et pendant toute la durée de la compression, l'échauffement progressif de l'air qui augmente le travail résistant;

2° De n'admettre au détendeur que de l'air préalablement refroidi et débarrassé de la majeure partie de son humidité.

Ce sont là deux conditions essentielles du fonctionnement normal des machines à air que M. Bustin s'est efforcé de réaliser aussi exactement que possible dans le nouveau type qu'il a présenté à l'Exposition.

En principe, cette machine comprend, placés côte à côte sur le même bâti, deux cylindres en fonte à simple effet, dont les pistons sont accouplés par manivelles à 90 degrés; l'un est le cylindre compresseur, le second, ou cylindre détendeur, pouvant avoir même course et un diamètre plus faible que le premier, ou encore même diamètre avec une course de piston moins longue. L'arbre commun porte un volant et une poulie de commande, la machine étant actionnée, non par un cylindre à vapeur installé sur le même socle, comme la machine Hall, mais par un moteur indépendant ou même une transmission (Giffard).

Les deux cylindres sont pourvus d'une enveloppe qui est à circulation d'eau pour le compresseur et à circulation d'air froid pour le cylindre de détente.

Le fond du cylindre compresseur est muni en son centre d'un clapet, très léger, composé d'un disque plat en acier à bord conique, qui laisse pénétrer l'air extérieur pendant l'aspiration et ferme l'orifice pendant la compression.

Le mouvement de ce clapet n'est pas automatique, c'est l'arbre moteur qui le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

détermine par l'intermédiaire d'un système de bielle et came ou d'une série de leviers combinés à cet effet.

Sur ce même fond de cylindre est venue de fonte une chambre qui est mise en communication avec ledit cylindre par une soupape, annulaire et équilibrée, concentrique au clapet et maintenue par un ressort amortisseur de chocs. Le siège de cette soupape, qui sert au refoulement, possède à peu près le même diamètre que le fond; il est percé de trous assez nombreux répartis sur une circonférence et correspondant à un nombre égal de trous semblables pratiqués dans cette partie du cylindre. L'un des croisillons intérieurs de la soupape sert de guide à la tige du clapet d'aspiration.

Le cylindre détendeur est enfermé dans une enveloppe prolongée par une chambre qui est en communication permanente avec elle. Un clapet, semblable à celui du compresseur, est logé dans le fond de ce cylindre; il sert au refoulement et son siège n'est autre que l'arête d'une cornière en bronze rapportée à la base d'une soupape qui lui est concentrique. Cette arête tranchante est destinée à couper la glace qui tend à se déposer sur le clapet au moment de l'expansion de l'air.

La soupape annulaire du détendeur est employée pour l'aspiration de l'air comprimé. Elle repose, maintenue par un ressort, sur un siège en caoutchouc logé dans l'épaisseur du fond du cylindre; elle est guidée à sa base dans une couronne venue de fonte avec ce dernier et percée d'orifices transversaux destinés au passage de l'air. A son sommet, elle glisse à l'intérieur d'une bague de caoutchouc logée dans le couvercle de la chambre et sur laquelle vient presser par des trous l'air comprimé de cette chambre, de façon à former un joint absolument étanche entre la soupape et le couvercle.

Le clapet du détendeur est aussi conduit desmodromiquement et son mouvement de droite à gauche entraîne celui de la soupape. Outre la rapidité plus grande de l'ouverture des soupapes, la commande mécanique procure encore, comme nous l'avons déjà remarqué, l'avantage de permettre de graduer à volonté la détente et par suite de faire varier le degré de refroidissement et aussi de remédier à l'influence fâcheuse des espaces nuisibles en reformant dans ceux-ci, d'ailleurs très réduits dans la machine Bustin, une pression déterminée par la fermeture de la soupape de refoulement avant l'achèvement complet de la course du piston. La fermeture des soupapes aux deux cylindres est d'ailleurs accélérée par la détente des ressorts montés sur les bielles de commande et qui sont comprimés pendant la période d'admission.

Comme les deux cylindres sont ouverts du côté de la tige du piston, ils sont facilement accessibles et ne comportent qu'une seule garniture, celle de ce dernier organe.

Les deux pistons sont identiques comme construction. Chacun d'eux se compose de deux disques, l'un solidaire de la tige, l'autre maintenu appliqué plus ou moins fortement sur le premier par des boulons munis de ressorts. Une bague de caoutchouc, ou de préférence un anneau de cuir embouti en forme d'U, forme la garniture et occupe la rainure circulaire pratiquée sur la surface frottante et à la base du premier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

disque. Elle est appliquée sur la paroi du cylindre par la pression même de l'air refoulé.

Ce dispositif présente l'avantage de rendre le frottement du piston bien moins dur dans le mouvement de droite à gauche (car les ressorts en s'écrasant augmentent la largeur de la rainure) que dans le mouvement en sens inverse. Il en résulte que la résistance due au frottement est rendue moins grande pendant la période d'admission de l'air dans l'un ou l'autre cylindre que pendant la période correspondante de refoulement.

Le nombre des disques qui composent chaque piston est supérieur à deux quand la puissance de la machine devient assez considérable.

Le refroidisseur est constitué par trois séries consécutives de tubes disposées comme un condenseur à surfaces et logées dans un nombre égal de chambres ménagées elles-mêmes dans le socle du bâti. Les deux premiers faisceaux sont baignés par une masse d'eau en circulation continue et de sens contraire à celle de l'air.

Des chicanes convenablement disposées assurent le contact aussi parfait que possible de l'eau et des tubes dont la surface réfrigérante est tout entière utilisée.

La troisième chambre, indépendante des deux autres, qui, au contraire, communiquent ensemble, renferme la dernière série de tubes; celle-ci est refroidie par l'air sortant encore à basse température de la chambre réfrigérante.

La circulation d'eau dans l'enveloppe du compresseur peut être réalisée de différentes façons. Toutefois, dans le type exposé, c'est l'eau qui a parcouru le refroidisseur qui sert à combattre l'échauffement de l'air dans le cylindre. Amenée par une conduite sur l'un des côtés de l'enveloppe, elle vient lécher la paroi du cylindre pour ressortir à la partie supérieure de la chemise par une autre conduite qui l'amène dans l'espace compris entre les parois des deux chambres boulonnées sur l'avant du socle, d'où elle s'écoule enfin à l'extérieur.

Le refroidisseur est complété par un quatrième serpentin disposé à la partie supérieure de la chambre froide ou réfrigérant et qui joue en même temps le rôle de sécheur. La température très basse à laquelle sont soumis ces tubes précipite une grande partie de l'humidité de l'air qu'ils contiennent sous forme de neige que l'on évacue au dehors par une purge.

Indiquons maintenant le jeu de la machine qui fonctionne à cycle ouvert.

Dès que l'air atteint dans le cylindre le degré de compression voulu, la soupape de refoulement se soulève automatiquement et laisse sortir l'air qui passe de la chambre du compresseur dans l'un des compartiments transversaux ou chambres boulonnées sur l'avant du socle. Là il est distribué aux tubes dans lesquels il circule et commence à se refroidir au contact de l'eau et de l'air froid qui les environnent. Il en sort par un conduit qui l'amène dans le serpentin de la chambre froide où il se refroidit de nouveau en se séchant. Enfin, il gagne l'espace annulaire du détendeur où, en subissant une première et légère détente, il achève de se refroidir et de se sécher au contact de la paroi avant son admission dans le cylindre. On remarquera qu'à mesure qu'il s'éloigne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du compresseur l'air comprimé est mis en contact avec des surfaces de plus en plus froides.

Au moment où le piston détendeur commence sa course de gauche à droite, l'arbre moteur déplace le clapet de droite à gauche et la soupape annulaire est entraînée. L'air comprimé passe entre cette dernière et son siège en quantité déterminée par le dispositif bielle et came qui est réglé suivant la température et le volume de l'air froid à produire.

Le clapet étant ramené à sa position primitive, l'air comprimé de la chambre et le ressort appliquent fortement la soupape sur son siège, de façon à interrompre l'admission. Pendant ce temps, le piston continue sa course et l'air emprisonné dans le cylindre se détend. Ce n'est qu'au moment où le piston va commencer son mouvement de droite à gauche que le clapet est déplacé en sens inverse et laisse l'air détendu chassé par le piston s'échapper pour se rendre, par une conduite spéciale, dans la chambre froide.

En arrivant dans cette chambre, l'air froid déplace d'une façon continue l'air qui a déjà parcouru l'enceinte à refroidir en se réchauffant d'un certain nombre de degrés et qui par suite tend à monter à la partie supérieure du local. Cet air s'échappe alors par un conduit, débouchant en cet endroit, qui l'amène dans le troisième compartiment du refroidisseur du socle. Il circule dirigé par des chicanes autour des tubes, au contact desquels il perd sa basse température avant d'être chassé définitivement dans l'atmosphère.

La machine Bustin n'a encore reçu, que nous sachions, aucune sanction pratique, mais la simplicité que présentent l'ensemble du dispositif adopté et la construction des principaux organes, jointe aux précautions prises pour assurer à l'air détendu le degré de siccité nécessaire, fait espérer qu'elle pourra rendre les mêmes services que les machines anglaises du même genre.

Il y a lieu d'ajouter cependant que la plupart des dispositions de détail de cette machine ne sont pas nouvelles. Elles semblent n'être qu'un résumé intéressant des particularités qu'offrent les appareils frigorifiques à air construits depuis dix ans en Angleterre et qui dérivent eux-mêmes de la machine Giffard exposée en 1878.

Ainsi, le rafraîchissement de l'air par circulation dans un double faisceau de tubes plongés dans l'eau et dans l'air sortant de la chambre froide a été appliqué par Windhausen en 1869 et depuis par MM. Hall, Lightfoot, Bell-Coleman, etc. Dans la machine Bell-Coleman de 1877, l'air passe également dans un sécheur à tubes renfermé dans le réfrigérant.

La circulation dans l'enveloppe du compresseur de l'eau qui sort du rafraîchisseur a été employée par Hall dans sa première machine à cylindres verticaux. Ce système a été abandonné depuis, la température maintenue au compresseur par l'eau déjà échauffée n'étant pas suffisamment basse pour rendre le travail de compression aussi économique que possible et restant supérieure d'environ 20 degrés à celle qu'entretiendrait un courant d'eau froide indépendant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nehrlich a indiqué en 1874 le moyen d'enlever à l'air comprimé une partie de son humidité en lui faisant subir un refroidissement complémentaire dans l'enveloppe du détendeur. Lightfoot a appliqué le même principe dans le type de machine Hall étudié par lui en 1880.

Les soupapes d'aspiration au compresseur et de refoulement au détendeur sont analogues à celles de Giffard.

Nous croyons que les principales caractéristiques du système Bustin consistent : 1° dans la disposition des soupapes annulaires montées sur le fond des cylindres et combinées avec des clapets ordinaires établis sur le même axe ou actionnées par eux; 2° dans la construction des pistons, formés de deux ou plusieurs plateaux réunis les uns aux autres par des boulons et des ressorts, une bague de caoutchouc ou de cuir embouti occupant chacune des rainures ménagées entre deux plateaux consécutifs et formant joint étanche sous la pression même de l'air.

D'après l'inventeur, la machine exposée en 1889 peut produire à l'heure 280 mètres cubes d'air froid à une température d'environ 40 degrés au-dessous de zéro. La vitesse de l'arbre du volant est de 70 tours à la minute, la force employée de 7 chevaux et la consommation d'eau de refroidissement de deux mètres cubes à l'heure. Ce sont les seuls renseignements pratiques que nous possédions sur le rendement frigorifique des machines Bustin.

Système Popp.

Dans le système Popp, la compression et la détente de l'air s'opèrent dans des locaux situés en général à une assez grande distance l'un de l'autre.

Le but principal de ce système est en effet la distribution de l'air comprimé et l'utilisation mécanique de la détente de l'air comme force motrice d'industries diverses et notamment de l'éclairage électrique. Le froid n'est donc ici qu'un sous-produit de la détente, l'air d'échappement des machines servant à l'alimentation des chambres froides.

La distance qui sépare le compresseur du détendeur permet le refroidissement de l'air comprimé en route par le sol et supprime l'appareil refroidisseur qui existe dans les types précédents. Mais comme le compresseur (système Dubois et François) est refroidi par une injection d'eau, une notable partie de l'eau injectée est entraînée au détendeur et donne une quantité de neige considérable à la sortie de ce cylindre.

Dans le cas où il s'agit uniquement de produire de la force motrice ou même de refroidir des chambres à des températures modérées, la présence de l'humidité est généralement combattue par le réchauffement et le séchage préalables (au moyen d'un foyer) de l'air avant son entrée au détendeur. Mais ce procédé est illogique et donne un effet utile très réduit et un rendement très faible lorsque la quantité de froid débitée doit être d'une certaine importance et à température suffisamment basse.

Le détendeur François, qui est désigné aussi sous le nom d'aéromoteur, est à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

double effet, horizontal ou vertical, à un cylindre ou à deux cylindres conjugués à 90 degrés.

L'admission de l'air se fait à l'aide de tiroirs Meyer; pour l'échappement on emploie des tiroirs plans, indépendants, commandés par des excentriques spéciaux et disposés du côté diamétralement opposé à l'admission. La difficulté de maintenir ces tiroirs étanches, à cause de la pression de l'air contenu dans le cylindre qui tend à les décoller de leur siège, a été surmontée à l'aide d'une genouillère qui est pressée sur les tiroirs par un petit piston recevant lui-même la poussée d'une dérivation d'air comprimé.

Ce système constitue une ressource importante qu'il semble avantageux d'utiliser pour la production en grand du froid (à la Bourse du commerce par exemple), quand les établissements de force motrice par l'air comprimé existent comme à Paris, mais pour des raisons économiques on ne sera pas amené à en provoquer d'une façon générale le développement en vue de la production et de l'utilisation seules du froid artificiel pour les besoins plus restreints de l'industrie privée.

2° MACHINES À VAPEURS LIQUÉFIABLES.

Les gaz ou vapeurs liquéfiables constituent la catégorie d'agents frigorifiques la plus employée à l'époque actuelle. Dans ce cas, le refroidissement du gaz comprimé détermine sa liquéfaction dès que la pression à laquelle il est soumis atteint le maximum de tension qui correspond à la température de l'eau réfrigérante. Le refroidisseur joue donc ici le rôle de liquéfacteur. La détente, et par suite le passage de l'état liquide à l'état gazeux, se produisent sous l'action du vide partiel opéré par l'aspiration d'une pompe.

C'est cette évaporation qui produit le refroidissement du liquide lequel prend presque instantanément la température correspondant à la tension des vapeurs qui agissent sur sa surface libre. Les vapeurs aspirées sont comprimées de nouveau et ainsi de suite. Toutes les opérations s'opèrent donc en vases clos; le cycle décrit par le gaz à ses divers états est fermé : la même quantité peut donc, en théorie, servir indéfiniment. Pour un même gaz, le froid produit est proportionnel au poids du liquide évaporé.

La chaleur spécifique des gaz liquéfiables étant en général beaucoup plus considérable que celle de l'air et surtout leur chaleur latente de volatilisation bien supérieure à sa chaleur de détente, l'on voit immédiatement que, pour un même effet frigorifique à produire, les volumes de gaz à employer seront beaucoup moindres, les machines plus actives sous des dimensions plus réduites et avec moins de résistances passives, et par suite leur coefficient économique organique plus élevé. En outre, les expériences de Regnault ont démontré que la valeur des pressions qui, en agissant sur des masses égales, les réduisent à des volumes égaux, est moindre pour les gaz condensables que pour l'air; le travail de compression est donc aussi plus faible. Enfin, les températures de vaporisation sont généralement plus élevées que celles obtenues avec l'air. Pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toutes ces raisons, le rendement final de ces machines doit être supérieur à celui des machines à air, c'est-à-dire la force motrice dépensée moins grande.

Comme les tensions de vaporisation de la plupart de ces liquides aux basses températures utilisées sont excessivement faibles, il ne semble pas y avoir d'avantages réels à faire détendre le gaz liquéfié sur un piston spécial dont le travail viendrait en déduction de celui fourni pour la compression, mais augmenterait la somme des résistances passives. L'appareil de détente subit donc dans ce cas une simplification importante : il se réduit à un robinet dont l'ouverture est réglée de façon à faire passer du liquéfacteur à l'évaporateur, sous l'influence de la différence des températures et par suite des pressions, une quantité de liquide exactement égale à celle qui est aspirée par le jeu de la pompe. En modifiant, dans un sens ou dans l'autre, l'ouverture du robinet, on peut faire varier à volonté le refroidissement et l'effet utile de l'appareil.

En regard de ces avantages, les gaz liquéfiables présentent quelques inconvénients. Il faut les préparer industriellement; par suite, ils ont une certaine valeur et leur approvisionnement est plus ou moins limité; une fausse manœuvre, un accident aux bouteilles métalliques qui contiennent la provision de liquide, peut être la cause d'intermittences ou d'interruptions complètes du fonctionnement des machines. Leur manipulation, de même que la conduite des appareils, ne doit être confiée qu'à des ouvriers déjà expérimentés.

De ce que les changements d'état successifs se produisent en vases clos, il résulte : 1° que les organes sont plus nombreux et plus compliqués qu'avec l'air; 2° que le froid produit ne peut être utilisé directement, mais par l'intermédiaire d'une surface métallique qui absorbe une partie des frigories produites. En outre, l'écart des pressions pour une égale différence de température étant plus grand pour les gaz liquéfiables que pour l'air, ceux-là exigent pour les appareils des épaisseurs plus fortes qui augmentent d'autant leur prix d'achat. Enfin, la pression de liquéfaction dépendant essentiellement de la température du liquéfacteur, cette pression peut devenir très élevée, de sorte que le rendement diminue à mesure que le degré de chaleur de l'eau de condensation et partant celui de la compression augmente.

Pour éviter, pendant l'aspiration, les rentrées d'air qui renversent l'économie du cycle fermé parcouru par l'agent frigorifique, pendant la compression les pertes de substances généralement coûteuses et atténuer l'influence désastreuse des espaces nuisibles (qui déterminent une perte de vide au début de l'aspiration par la volatilisation du liquide qu'ils renferment), la construction des machines à liquide volatil doit être particulièrement soignée, l'herméticité des organes et des conduites de circulation absolue, l'usure des pièces travaillantes et, par conséquent, les frottements réduits au minimum par une lubrification parfaite.

Il faut remarquer, d'autre part, que la vapeur comprimée se comportera différemment suivant qu'elle restera, ou non, en contact avec son liquide générateur, c'est-à-dire lorsqu'elle sera saturée ou sèche. Dans le premier cas, toute modification de volume

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous pression constante aura simplement pour effet de liquéfier ou vaporiser une certaine quantité de gaz sans changer sa température. La compression n'entraînera donc pas l'échauffement de la vapeur, et par suite le refroidissement ne sera pas nécessaire.

Si, au contraire, la vapeur est sèche, elle se comportera sensiblement comme un gaz parfait, comme l'air par exemple, et se surchauffera pendant la compression. Les températures obtenues seront plus basses; mais le rendement diminuera sous l'influence d'un plus grand écart des températures extérieures.

Les machines à vapeurs liquéfiables devront donc être disposées pour éviter ou combattre efficacement la surchauffe pendant la compression.

Cette classe de machines est celle qui était représentée à l'Exposition par le plus grand nombre d'appareils nouveaux. Elle est aussi, sans aucun doute, celle dont l'industrie du froid présente le plus grand nombre d'exemplaires en fonctionnement et qui tend de plus en plus à se substituer aux machines à air.

Représentée en 1878 par les seules machines Pictet et Linde, elle comprenait, en 1889, les machines suivantes :

Machines à acide sulfureux pur ou mélangé.....	Type Pictet (1875). Type de Naeyer (section belge). Type de la Compagnie Fives-Lille.
Machines à chlorure de méthyle.	Type Vincent (Douane et Jobin).
Machines à gaz ammoniac...	Type Linde (Sulzer frères, section suisse). Type Fixary (Société des Constructions spéciales). Type Lebrun (1888) [1]. Type Rouart (1889) [1].
Machines à acide carbonique...	Type Windhausen (Halot et C^ie^, section belge).

L'on doit remarquer tout d'abord que parmi les machines à compression de vapeurs liquéfiables, celles à gaz ammoniac sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie. L'on peut même avancer qu'en dehors des machines à acide carbonique, tous les types imaginés depuis dix ans reposent uniquement sur l'emploi du gaz ammoniac et que ce sont de toutes les machines à froid celles qui, avec les machines à air, ont donné lieu aux améliorations les plus nombreuses et les plus remarquées.

Il y a lieu d'observer, d'ailleurs, qu'après les éthers abandonnés à cause de leur inflammabilité et de leurs tensions trop faibles qui produisent des machines dangereuses et encombrantes, la tendance générale de ces dernières années a été chez les constructeurs d'utiliser des liquides de plus en plus volatils : acide sulfureux, chlorure de méthyle, gaz ammoniac, acide carbonique, de façon à obtenir des froids plus intenses à l'aide d'appareils de volume aussi réduit que possible.

M. Pictet a même recommandé l'emploi de liquides binaires constitués par des mé-

[1] Les spécimens de ces machines proposés au Comité d'admission n'ont pu être terminés assez tôt pour figurer à l'Exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

langes d'acide sulfureux et d'acide carbonique dont les températures d'ébullition sont plus basses et les tensions de vapeur plus élevées.

L'emploi de l'acide carbonique est également récent. Sa fabrication est passée aujourd'hui à l'état d'opération industrielle, et l'emploi de ce gaz comme agent frigorifique tend à se répandre chaque jour davantage, notamment sur les navires.

Dans les divers types de machines à compression, les organes travailleurs sont en principe les mêmes, mais leur construction présente des particularités intéressantes et des dispositifs variés suivant la nature du gaz à liquéfier et quelquefois très importants au point de vue de l'économie du système considéré.

Ce sont ces particularités que nous nous efforcerons de faire ressortir par l'étude de chaque type considéré d'abord isolément.

MACHINES À ACIDE SULFUREUX.

Machine Pictet.

C'est à M. R. Pictet que revient le mérite d'avoir créé en 1875 la machine à acide sulfureux, la première machine à compression d'un emploi réellement pratique qui ait attiré l'attention du public à l'Exposition universelle de 1878.

Pendant ces dix dernières années, cette machine a reçu quelques perfectionnements importants qui l'ont pour ainsi dire transformée. Un exemplaire de ce nouveau modèle produisant 100 kilogrammes de glace à l'heure était exposé en 1889 par la Compagnie industrielle des procédés R. Pictet, seule propriétaire des brevets de cet inventeur. Il produisait de la glace et le froid nécessaire au refroidissement d'un spécimen d'une cave de brasserie.

On sait que l'acide sulfureux ordinaire est impropre à la production du froid à cause de l'affinité qu'il possède pour les métaux. L'agent frigorifique employé dans les machines Pictet est l'acide anhydre liquide qui est fabriqué par la Compagnie dans son usine spéciale d'Authy près Thonon (Haute-Savoie) dont la production annuelle atteint aujourd'hui 100,000 kilogrammes.

Le mode de préparation industrielle (Melsens) consiste à faire réagir la vapeur de soufre à 400° sur de l'acide sulfurique à 66° B; 5 kilogrammes d'acide et 1 kilogramme de soufre donnent 6 kilogrammes d'acide sulfureux. On obtient ainsi un corps jouissant de propriétés particulières, incolore et mobile, liquéfiable sous une pression relativement faible (4 atmosphères et demie à 30 degrés) même avec des eaux de condensation très chaudes et à une température qui n'est pas trop basse; circonstances avantageuses au point de vue de l'économie de force motrice. Ce liquide convient très bien pour des températures modérées. Il entre en ébullition à — 10°,08 sous la pression

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

atmosphérique. Pratiquement la pression d'aspiration est réglée à 9/10 d'atmosphère correspondant à une température de — 12°,11. Dans ce cas, les rentrées d'eau et d'air humide sous l'influence de la pression atmosphérique sont particulièrement à craindre. Dès que ce terme est dépassé, l'effet utile diminue rapidement, parce que le poids du gaz aspiré à chaque coup de piston est moindre, alors que son volume reste constant.

La tension est de 3 atmosphères à 30 degrés. La chaleur spécifique est de 0.33 et la chaleur latente de vaporisation 100. Il n'attaque pas les métaux, ne se décompose pas sous l'action des changements d'état; il n'est ni explosif, ni inflammable, mais facilement transformable en acide sulfurique et dégage une odeur irritante au suprême degré.

Comme dispositifs d'ensemble, comme fonctionnement, la machine Pictet ne diffère en rien d'une autre machine à gaz liquéfiable. Nous ne décrirons, d'après une note de la Compagnie, que les détails de construction récents qui ont fait l'objet de l'examen du Jury.

Le compresseur est construit avec les plus grands soins. C'est une pompe horizontale à double effet aspirante et foulante, avec corps en fonte et double enveloppe afin d'y pouvoir faire circuler un courant d'eau destiné à combattre l'échauffement dû à la compression. Elle est actionnée directement par le cylindre à vapeur qui est situé dans son prolongement, les pistons étant montés sur le même axe.

La tige du piston de la pompe est creuse. L'eau qui sort de l'enveloppe du cylindre à la partie supérieure pénètre dans la tige par une tubulure fixée sur cette dernière, refroidit le presse-étoupe, chemine jusqu'au piston en passant par un tube central logé dans la tige, puis revient extérieurement à ce tube jusqu'à une autre tubulure par laquelle elle s'écoule librement au dehors.

Afin de permettre la circulation d'eau malgré le mouvement de la tige, la réunion des tubulures et des conduites fixes se fait au moyen de tubes de caoutchouc maintenus à une certaine hauteur au-dessus du presse-étoupe.

Le piston est soigneusement ajusté et rodé dans le cylindre, il présente une grande surface de contact avec la paroi intérieure. Pour assurer une herméticité parfaite, il porte, outre deux segments d'acier ou de fonte, une série de cannelures parallèles. Celles-ci ont pour but d'augmenter l'effet produit par la détente successive des gaz qui s'écoulent d'une cannelure à l'autre par des orifices annulaires très petits.

Le graissage du cylindre, du piston et de sa tige est entièrement supprimé, l'acide sulfureux étant par lui-même lubrifiant, d'après ce qu'a démontré l'expérience. Le mouvement du piston est très doux; on ne le graisse légèrement qu'au début de la mise en marche après montage, quand on fait les essais à l'air libre.

Quelques modifications heureuses ont aussi été apportées en ce qui concerne l'aspiration et le refoulement. Dans les anciens types de machines, chaque fond portait des boîtes à clapets rapportées. Un dispositif spécial permet aujourd'hui l'emploi de clapets montés directement sur les fonds du compresseur, le passage des vapeurs se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faisant par des canaux ménagés dans ces fonds. L'on a pu ainsi augmenter dans de notables proportions la section de passage du gaz, supprimer les joints des chapelles, et, par suite, réduire d'autant les risques de fuites et les pertes d'acide.

L'adoption d'un système spécial de clapets d'aspiration et de refoulement résulte d'études et d'expériences nombreuses (1884).

Aspiration. — Le corps du clapet est en acier, la tige épaisse et le disque obturateur résistant. Une chapelle, extérieure au cylindre et boulonnée sur lui, protège chaque clapet et procure un long guidage. Le ressort ordinaire à boudin qui agit sur la tige est au moins vingt fois aussi long que la course. Celui de l'aspiration est faible; au repos sa pression sur le disque est au plus d'un vingtième d'atmosphère.

C'est là une condition de bon rendement, car les gaz aspirés entrent d'autant plus facilement dans le cylindre que la résistance qu'ils rencontrent est moindre. On peut régler la tension de ce ressort au moyen de l'écrou fixé sur la tige du clapet. Il est entouré à sa partie supérieure d'un second ressort dur qui vient, dès que la soupape est ouverte de 7 à 8 millimètres, accélérer le rappel tout en amortissant les chocs.

Le siège tourné et rodé au moyen du clapet lui-même fait corps avec le guide, et entre à vis dans sa boîte. La fermeture est donc garantie. Un croisillon arrête le clapet dans sa course et l'empêcherait de tomber dans le cylindre s'il arrivait à se détacher ou à se briser. Le ressort est également logé dans une gaine qui en retiendrait les fragments en cas de rupture.

Refoulement. — Même principe que pour l'aspiration ; le ressort ordinaire est pourtant plus puissant. La pression est au moins d'un dixième d'atmosphère sur le disque de sortie du gaz. On règle sa pression au moyen de la gaine en bronze qui se visse sur le guide. La même gaine est munie à sa partie supérieure d'un second ressort dur de rappel et amortissant les chocs par sa butée sur le fond de la boîte.

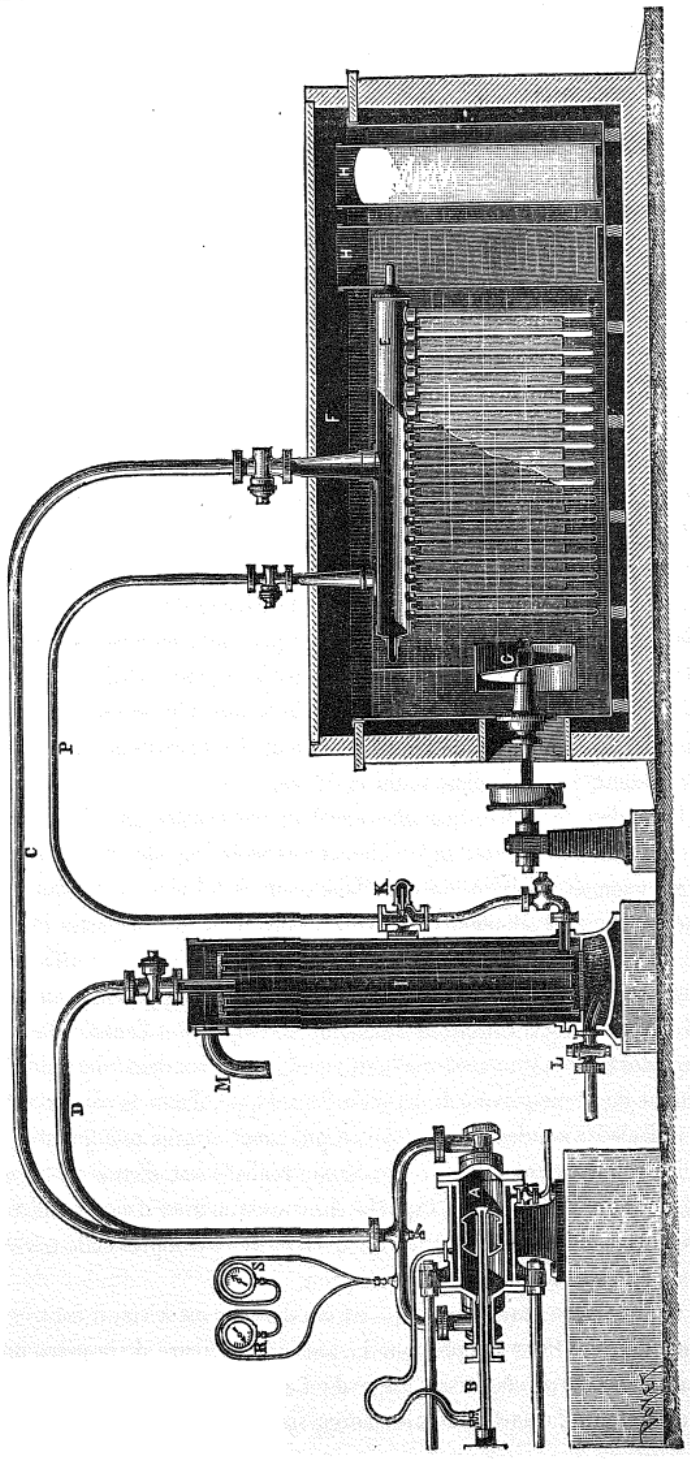
La puissance de ce ressort est nécessaire pour atténuer les mouvements brusques produits par le jeu de la pompe; de plus, c'est une cause très efficace pour éviter la transformation moléculaire qui pourrait se produire sous l'influence de la levée brusque du clapet et amener une rupture.

Les deux chapelles d'aspiration et celles de refoulement sont reliées par des culottes qui portent des brides d'attente pour le tuyau qui relie la pompe au réfrigérant (aspiration) et celui qui la relie au condenseur (refoulement). A la face inférieure des culottes sont placés deux robinets : l'un pour faire rentrer l'air pendant les essais à l'air comprimé, l'autre pour vider les tuyaux et l'appareil du gaz qu'ils contiennent au moment de la mise en train ou d'une réparation.

Presse-étoupe. — Il est construit de façon à présenter une parfaite étanchéité. Il comprend deux parties. Une première garniture métallique composée de segments à ressort forme le fond de la boîte. Elle est munie d'un anneau évidé en fonte, puis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VUE EN COUPE DE LA MACHINE PICTET.



A Pompe de compression.
B Piston compresseur.
C Tuyau d'aspiration de l'anhydride gazeux.
D Tuyau de refoulement de l'anhydride gazeux.
E Réfrigérant *incongelable nouveau système.*

F Cuve de congélation.
G Hélice pour agiter le bain incongelable.
H Moules à glace.
I Condenseur vertical *nouveau système.*
K Robinet de réglage.

L Robinet d'arrivée de l'eau de condensation.
M Sortie de l'eau de condensation.
P Tuyau de retour d'anhydride liquide.
R Manomètre d'aspiration.
S Manomètre de compression.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une chambre que l'on remplit, dans le mode actuel, de rondelles de liège paraffinées (autrefois de cordes talquées). La bague en fonte qui ferme l'entrée du presse-étoupe en appuyant sur les rondelles porte une cannelure garnie d'un anneau de caoutchouc. Quand le serrage est fait, cet anneau se comprime contre les parois de la boîte et empêche les fuites de ce côté.

Les gaz, qui pendant le refoulement ont passé du cylindre dans la cavité fermée par l'anneau métallique, se détendent dans la capacité formée par l'anneau évidé et sont ramenés au cylindre par un branchement pris sur la conduite d'aspiration. Il en résulte que la seconde garniture est absolument étanche si elle est faite avec soin, car la pression extérieure est à peu près la même que celle du gaz dans l'anneau métallique. On arrive ainsi à supprimer entièrement les fuites du seul joint mobile de la machine, celui de la tige du piston.

Des progrès sérieux ont été également réalisés dans la construction du condenseur et du réfrigérant.

Autrefois le condenseur, composé d'un faisceau tubulaire semblable au vaporisateur des chaudières locomobiles, était placé horizontalement. L'eau de condensation pénétrait par l'une des extrémités, mais ne se distribuait pas uniformément dans tous les tubes. Il arrivait même que l'eau ne pénétrait pas dans un certain nombre d'entre eux. La condensation s'opérait d'une façon lente et irrégulière qui nécessitait une augmentation de force motrice et l'obligation de faire passer dans l'appareil une quantité d'eau considérable pour obtenir le rendement voulu en glace.

Aujourd'hui, le condenseur est vertical et à enveloppe extérieure en tôle. Il se compose d'un régime de tubes en cuivre, préalablement essayés à haute pression, et soigneusement matés et soudés à l'étain dans les deux plaques tubulaires. Ce faisceau est enfermé dans une enveloppe également en cuivre. L'eau, amenée à la partie inférieure de l'appareil par un robinet de réglage, traverse les tubes en s'élevant uniformément dans chacun d'eux, se répand dans la double enveloppe et s'échappe enfin au sommet du condenseur. L'arrivée du gaz comprimé se fait du côté opposé à l'entrée de l'eau de sorte que l'échange des températures est méthodique et l'acide condensé descend de lui-même vers le robinet de sortie placé à la base de l'enveloppe. Toute la surface condensante étant bien utilisée, la condensation se fait rapidement et avec une quantité d'eau et de force motrice relativement faible : l'économie réalisée est d'environ un quart. Pour la machine de 100 kilogrammes exposée, la consommation d'eau est d'environ 3 mètres cubes à l'heure et la force motrice de 6 chevaux, y compris celle nécessaire pour actionner les hélices et la pompe de circulation.

Le robinet de réglage porté par l'enveloppe du condenseur est à vis; il est très sensible et facile à manœuvrer. Pour chaque tour la partie supérieure de la pièce mobile s'éloigne d'un millimètre environ de son siège de butée. Un presse-étoupe de liège ou de corde talquée entoure la partie mobile et s'oppose aux fuites vers l'extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le réfrigérant, dans les anciennes machines, présentait quelques inconvénients qui ont déterminé la Compagnie Pictet à étudier un nouvel appareil dit *à tubes communicants*.

Autrefois, l'évaporateur, du système tubulaire comme le condenseur, était disposé de telle façon que la solution incongelable traversait les tubes baignés par le liquide volatil. Cette disposition pouvait donner lieu à certains accidents, tels que l'obstruction ou la rupture des tubes. Si, par exemple, la courroie de l'hélice chargée d'agiter la solution dans la cuve venait à tomber, le liquide incongelable et insuffisamment salé se congelait dans les tubes de sorte que la transmission du froid était diminuée ou arrêtée suivant le nombre de tubes obstrués. La congélation de l'eau pouvait même amener la rupture desdits tubes et occasionner un mélange dangereux d'eau incongelable et d'anhydride sulfureux.

Le nouveau réfrigérant permet d'éviter complètement tous les accidents de cette nature. Ce résultat a été obtenu en composant l'évaporateur de deux gros tubes horizontaux en cuivre d'environ 150 millimètres de diamètre et d'une longueur variable suivant la puissance de l'appareil. Ces tubes servent de collecteurs et de dômes de vapeur.

Des tubes, recourbés en forme d'U et en nombre également variable, sont assujettis dans une position verticale sur les deux corps principaux, faisant ainsi l'office de tubes communicants par rapport à ceux-ci dans lesquels l'acide se tient au même niveau (à peu près aux deux tiers du diamètre vertical). Dans cet appareil, c'est en effet le liquide volatil qui se trouve à l'intérieur du vaporisateur et la solution à l'extérieur; il ne peut plus y avoir de congélation dans les tubes et par suite, ni ruptures, ni mélange.

Les tubes en U partent de la partie inférieure des collecteurs où des manchettes brasées reçoivent leurs extrémités qui y sont soudées à l'étain.

Cette disposition procure aux manchettes une étanchéité parfaite et une solidité à toute épreuve. De plus l'un quelconque des tubes peut facilement se mettre en place ou s'enlever sans que les soudures voisines en souffrent.

L'on sait que dans ce genre d'organes, la partie la plus active est évidemment celle qui est remplie de liquide volatil, à cause du contact intime qui s'opère entre celui-ci et les parois métalliques et qui constitue la condition essentielle d'un rendement maximum en tant que transmission du froid.

La Compagnie Pictet a cherché à réaliser dans son nouveau type de réfrigérant (1887) le maximum de surface rayonnante tout en n'employant qu'une quantité minima de liquide volatil.

Voici quels ont été les moyens employés dans ce but :

Pour agrandir la surface d'émission des vapeurs et en même temps établir l'équilibre des pressions au-dessus des deux branches de chaque tube communicant, on a relié les extrémités des collecteurs par des tubes cintrés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le même dessein et de façon à ne pas accroître le volume intérieur de l'appareil, on a relié les parties droites des branches voisines de deux tubes en U consécutifs au moyen de deux bandes latérales en cuivre soigneusement soudées qui, par suite, font corps avec les tubes et possèdent un pouvoir transmissif égal à celui des tubes eux-mêmes.

L'émission des vapeurs du liquide volatil se produisant plus facilement, il y a une certaine diminution de la force motrice employée pour l'aspiration. La quantité d'anhydride nécessaire dans le réfrigérant a pu, pour une machine de 100 kilogrammes, être réduite de 76 à 48 kilogrammes. Enfin le niveau du liquide volatil peut s'abaisser dans le réfrigérant d'une quantité assez considérable sans que le rendement de l'appareil soit diminué d'une façon sensible.

Vers le milieu de l'un des tubes collecteurs une tubulure brasée reçoit une large colonne conique soudée qui sert à l'aspiration des vapeurs; une seconde tubulure, placée sur le premier tiers de l'autre collecteur, est destinée à loger la base d'une colonne d'un diamètre moyen plus faible que celui de la précédente et portant un robinet pour le retour de l'acide liquéfié.

On a vu que l'appareil tout entier est en cuivre. Cette faculté de pouvoir employer le cuivre dans les machines à acide sulfureux est avantageuse en ce sens qu'à surface égale et lorsque la circulation du bain est active, la conductibilité est égale au moins à deux fois celle du fer. De plus, les conditions dans lesquelles travaille l'évaporateur le mettent à peu près à l'abri de tous les accidents, la pression que cet appareil doit supporter ne dépassant pas 3 à 4 atmosphères.

L'installation de la cuve du congélateur présente aussi quelques particularités. La cuve contient une dissolution de chlorure de magnésium; ses dimensions sont généralement assez faibles, de façon qu'au bout de deux heures de marche on puisse amener son contenu de 15 degrés centigrades à zéro.

Une hélice agitatrice placée à l'une des extrémités de la cuve fait circuler très rapidement le liquide au contact du faisceau tubulaire de façon à amener un échange énergique de températures. L'arbre de cette hélice passe dans un presse-étoupe à garnitures de liège paraffiné ou de cordes talquées trempées dans le suif chaud.

Deux parois verticales en tôle, établies parallèlement au grand axe de la cuve et étanches, divisent la cuve en trois compartiments et obligent le courant produit par la rotation continue de l'hélice à venir lécher la surface extérieure des tubes refroidisseurs dans le compartiment central. Des ouvertures ménagées à chaque extrémité de ces parois permettent au bain de venir pénétrer dans le réfrigérant, sortir derrière l'hélice et de là se répandre dans les deux compartiments latéraux, soit pour congeler des mouleaux, soit pour être pris par une pompe de circulation. La cuve est logée dans une enveloppe dont elle est séparée par un intervalle rempli de débris de liège ou de toute autre matière non conductrice de la chaleur.

Tous les robinets employés sur la machine appartiennent à un type spécial qui a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour but d'empêcher les fuites d'une manière absolue une fois le robinet arrivé à la position voulue d'ouverture ou de fermeture.

Le boisseau est fermé à sa partie supérieure. Le serrage de la clef dans le boisseau se fait au moyen d'une bague filetée qui appuie sur la noix par l'intermédiaire d'une seconde bague munie de deux ergots. Cette dernière empêche la clef de tourner quand on serre ou desserre la bague filetée. Un chapeau, muni d'un joint plat en cuir et d'un pas de vis, permet de fermer hermétiquement la capacité intérieure du boisseau quand la manœuvre du robinet est terminée.

Le graissage se fait uniquement avec un mélange composé de moitié suif fondu et moitié plombagine en poudre fine.

Un seul type de joints est adopté par la Compagnie Pictet. Il est à emboîtement et constitué par une rondelle de caoutchouc prise dans une gorge ménagée entre les deux brides boulonnées. Les fonds de l'emboîtement portent trois ou quatre rainures en grain d'orge sur lesquelles le caoutchouc vient s'appliquer. La rondelle est enduite sur ses deux faces de blanc de céruse délayé dans de l'huile de lin cuite. Il n'est pas nécessaire de serrer trop fortement ces joints qui sont hermétiques même sans le serrage à bloc des boulons des brides.

En résumé, la machine Pictet se recommande par sa construction très simple, quoique très étudiée, par les dispositions ingénieuses qui en rendent l'étanchéité presque parfaite, la conduite et la surveillance faciles et l'entretien presque nul.

Machine de Naeyer.

La Société de Naeyer et C^ie^, de Willebroeck (Belgique), est concessionnaire pour ce pays des brevets de la Compagnie industrielle des procédés R. Pictet, mais les machines construites par elle utilisent non plus les propriétés de l'anhydride sulfureux, mais celles d'un liquide binaire [1], dénommé par son auteur, « Nouveau liquide Pictet ».

Ce liquide binaire est constitué par un mélange d'acide sulfureux, préparé comme on l'a vu précédemment, et d'acide carbonique, c'est-à-dire de deux corps volatils susceptibles de se dédoubler, en émettant chacun des vapeurs, à de basses températures, sous l'influence d'un abaissement de pression et de se combiner à nouveau aux températures élevées d'une façon complète.

Il en résulte qu'au réfrigérant la tension totale des vapeurs émises est bien plus considérable que celle de l'acide sulfureux seul et que les températures obtenues sont d'autant plus basses que la détente est poussée plus loin et la proportion d'acide carbonique plus grande. Dans le condenseur, au contraire, la liquéfaction s'opère en partie

[1] Ce sont MM. Tessié du Motay et Rossi qui ont imaginé les premiers d'avoir recours dans les machines à froid à un liquide mixte (éther, acide sulfureux et ammoniaque).

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sous l'influence des affinités chimiques, l'acide sulfureux jouant le rôle d'absorbant; la tension maxima des vapeurs est alors sensiblement réduite et bien inférieure à celle du liquide le plus volatil, et la liquéfaction pourrait se faire même avec des eaux qui ne seraient pas très froides.

Il ressort de tout ce qui précède, dit M. Pictet, « une conséquence très considérable comme résultat pratique. Le piston compresseur recevra une poussée plus forte à l'aspiration, moins forte à la compression, d'où résultera une grande économie dans le travail nécessaire pour le fonctionnement de la pompe. C'est le travail dû aux actions physico-chimiques, associant les liquides élémentaires, qui soulage directement le moteur mécanique extérieur. »

En d'autres termes, le travail utile de l'aspiration augmente, le travail résistant du refoulement diminue, donc le rendement final augmente.

Parmi tous les composés binaires que peut former l'acide sulfureux en s'associant avec l'acide carbonique et qui entrent en ébullition à une température quelconque comprise entre — 71 degrés et — 7 degrés, M. Pictet a choisi le liquide représenté par le symbole CSO^4.

Pour préparer ce produit, on utilise la réaction qui s'effectue à la température de 320 degrés entre l'acide sulfureux à 66° B et le carbone. Pour transformer en CSO^4 le mélange d'acide sulfureux et d'oxyde de carbone qui résulte de cette opération, on opère la décomposition du carbonate de chaux par l'acide chlorhydrique, de façon à ajouter au mélange un équivalent de carbone et deux d'oxygène.

Le liquide CSO^4 renferme une proportion d'acide carbonique à peu près égale à 3 à 4 p. 100 de son poids total. Ses tensions, comparées à celles de l'acide sulfureux pur, seraient les suivantes d'après l'inventeur :

A — 30°	CSO^4	0atm 77	SO^2	0atm 36
— 19°		1 00		0 63
— 0°		1 83		1 51
+ 10°		2 55		2 35
+ 20°		3 40		3 30
+ 30°		4 45		4 60
+ 40°		5 72		6 20
+ 50°		6 86		8 30

Sa chaleur latente de vaporisation, plus considérable que celle de l'acide SO^2, n'a pas été déterminée, mais à volumes égaux il donnerait une fois et demie plus de froid que ce dernier. Les constructeurs indiquent, par exemple, qu'une machine qui produisait 300 kilogrammes de glace à l'heure avec l'acide SO^2, a pu fournir jusqu'à 400 kilogrammes en utilisant le liquide Pictet [1].

[1] Des expériences exécutées récemment à Munich sur une machine Pictet à liquide binaire semblent avoir démontré que ces affirmations sont au moins exagérées et les résultats obtenus problématiques.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine exposée par MM. de Naeyer et Cie pouvait produire à l'heure 120 kilogrammes de glace, avec une consommation de force de 6 chevaux et une consommation d'eau de 3 mètres cubes.

La construction de ce type diffère peu de celle des machines de la Compagnie Pictet de Paris.

On a dû seulement, pour tenir compte des tensions plus considérables du liquide binaire, munir le compresseur d'un double presse-étoupe, qui combat plus efficacement les fuites et les rentrées d'air, mais entraîne souvent un serrage exagéré de la garniture et par suite un frottement assez considérable. Ce compresseur à double effet est actionné par un moteur indépendant.

Le condenseur est formé d'une série de serpentins plats placés verticalement et soutenus de distance en distance par de minces cloisons en bois; leurs branches successives sont inclinées dans le sens de la circulation de l'acide qui se liquéfie. Chacun de ces serpentins est monté sur deux collecteurs horizontaux logés l'un au-dessus de l'autre, dans le voisinage de la même paroi de la cuve. Ces deux collecteurs portent des manchettes brasées dans lesquelles les extrémités des serpentins viennent s'ajuster à emboîtement. Ils sont de diamètres différents : le plus large, placé à la partie supérieure, joue le rôle de distributeur des vapeurs comprimées par rapport aux serpentins; le second fait office de collecteur pour l'acide liquéfié, qu'il amène dans une bouteille verticale ou réservoir qui réunit les deux collecteurs et dans laquelle aspire le tuyau de prise du liquide. L'ensemble du condenseur (tubes et collecteurs) est en cuivre. A l'une des extrémités des collecteurs se trouve un fond à joint mobile qui rend faciles la visite et le nettoyage de chacun de ces organes.

Le condenseur est plongé dans une cuve en tôle recouverte d'une enveloppe de bois. L'amenée d'eau froide se fait en pluie au sommet de la cuve par une sorte de pomme d'arrosoir cylindrique et l'échange des températures est méthodique.

Le réfrigérant est construit exactement sur le même principe que le condenseur; la disposition des collecteurs et des serpentins est la même, sauf que les serpentins forment, non plus un groupe unique, mais deux groupes entre lesquels sont logés les mouleaux à glace. La circulation de l'acide liquide et des vapeurs se fait de bas en haut.

La cuve en tôle avec double enveloppe en bois, à garniture isolante, est partagée en quatre compartiments; les deux compartiments longitudinaux extrêmes renferment les serpentins, celui du milieu reçoit les mouleaux et le quatrième transversal est occupé par l'hélice qui provoque la circulation de la solution incongelable. Des chicanes convenablement disposées servent à assurer le contact le plus intime et le plus long possible de la solution avec les serpentins.

Les constructeurs indiquent que dans de bonnes conditions de marche, le rendement de ce type de machine peut atteindre 20 à 25 kilogrammes de glace par force de cheval-heure indiqué. Ce chiffre paraît exagéré.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machine à acide sulfureux de la Compagnie de Fives-Lille.

La Compagnie de Fives-Lille a construit depuis l'année 1878, pour le compte de la Compagnie industrielle Raoul Pictet, un grand nombre d'appareils à acide sulfureux anhydre. Elle a réalisé dans l'exécution de ces appareils de notables progrès, qui en ont permis l'heureuse application dans les climats les plus chauds, comme celui de Java, par exemple, où l'eau de rivière dont on dispose pour la condensation est à une température élevée et contient une forte proportion de limon qui encrasse rapidement les surfaces de refroidissement du gaz comprimé. Une machine de 1,500 kilogrammes de glace à l'heure a pu être installée à Rio de Janeiro.

L'appareil qui figurait à l'Exposition (à l'état inerte) pouvait fournir à l'heure 15,000 calories négatives. C'était un exemplaire du dernier type créé dans les premiers mois de l'année 1889.

Il présente, sur la plupart des appareils déjà livrés à l'industrie par la Compagnie, d'intéressants perfectionnements de disposition, principalement en ce qui concerne le réfrigérant et le condenseur, perfectionnements qui tous ont pour but, d'une part, de réduire au minimum la force motrice nécessaire et la consommation d'eau de condensation, et, en second lieu, de procurer les plus grandes facilités pour l'installation et le montage des divers éléments de la machine.

Le réfrigérant, placé verticalement, au lieu d'être horizontal comme dans les modèles anciens, se compose d'une calandre en cuivre, fermée par deux plaques tubulaires sur lesquelles s'assemble un faisceau de tubes également en cuivre. La plaque tubulaire supérieure est munie en son centre d'une tubulure à laquelle est attaché un dôme ou prolonge. Ce dernier porte un robinet de forme particulière, à boisseau unique mais à deux clefs : l'une correspondant à la conduite d'acide gazeux, la seconde reliée à la conduite d'acide liquide qui se prolonge à travers le dôme, la tubulure et la calandre jusqu'à un niveau déterminé où l'acide liquéfié doit être normalement maintenu dans le réfrigérant.

Ces dispositions ont pour effet de réduire à un joint unique (celui de la tubulure avec le dôme), les divers joints noyés dans le liquide extérieur qui, dans le type primitif, correspondaient aux diverses tuyauteries dans lesquelles circule l'acide sulfureux.

Le corps du réfrigérant est immergé dans une enveloppe concentrique logée elle-même dans l'intérieur d'une bâche cylindrique extérieure. Cette dernière est munie à sa partie supérieure d'un couvercle, à une certaine distance duquel s'arrête le sommet de l'enveloppe intermédiaire.

L'ensemble repose sur un socle en fonte, doublé d'une paroi cylindrique intérieure de diamètre moindre et égal à celui de la calandre qu'elle supporte. Deux lunettes ménagées dans cette paroi sont destinées à recevoir deux hélices à pas inverses. L'arbre commun sur lequel sont montées ces hélices traverse le socle au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moyen d'un presse-étoupe; il est commandé par une courroie qui lui imprime un mouvement rapide de rotation. Un palier-chaise supporte la réaction à l'extrémité de l'arbre.

La solution incongelable, qui doit transporter le froid produit dans le réfrigérant dans les chambres frigorifiques ou dans la cuve à glace, remplit le socle et toute la capacité comprise entre la calandre et la première enveloppe. Les hélices déterminent un double mouvement circulaire de la solution : ascension dans les tubes du réfrigérant, descente autour de la calandre. Cette circulation constante provoque un échange de chaleur aussi énergique que possible entre la solution et l'acide sulfureux en ébullition.

Deux tubulures, sur lesquelles se raccordent des tuyaux de conduite, sont fixées extérieurement sur les parois du socle et de la bâche. Le liquide à refroidir, refoulé par une pompe, est amené par un tuyau qui débouche dans la partie centrale du socle. Il se mélange à celui qui est déjà en circulation dans l'appareil et chasse hors de celui-ci une quantité égale à la sienne de liquide refroidi. Cette quantité s'écoule en trop-plein à la partie supérieure de l'enveloppe intermédiaire pour gagner ensuite la conduite qui dirige la solution froide vers les appareils de congélation.

Il va sans dire que la circulation déterminée par les hélices est plus active que celle de l'agent frigorifique, et que la température de la masse qui se trouve en mouvement au contact du réfrigérant est aussi basse que le permettent l'intensité et la rapidité de la transmission du froid par la surface métallique de l'enveloppe.

Le condenseur est presque identique au réfrigérant comme dispositions et détails de construction. Seulement ce n'est plus une solution incongelable, mais bien de l'eau ordinaire qui circule dans l'appareil et s'échauffe par suite de la condensation des vapeurs de l'acide.

En outre, le tuyau de circulation du gaz liquéfié est prolongé jusqu'au voisinage du plateau inférieur, afin de procurer une bouche de sortie à l'acide condensé au fur et à mesure de sa liquéfaction, et de laisser la surface tubulaire agir tout entière sur les vapeurs à condenser.

La circulation intense déterminée par les hélices a pour résultat de mettre toutes les parties de l'eau condensante en contact intime avec les surfaces d'échange, et par suite d'uniformiser leur température en augmentant le plus possible leur degré final d'échauffement. La consommation d'eau se trouve réduite par ce fait même.

Dans ce nouveau type, la vaporisation et la condensation de l'acide se produisant avec des différences de pression moindres que dans les premiers appareils construits par la Société, on a pu réduire les dimensions de la pompe de compression et, partant, la puissance de son moteur. Ces derniers organes n'ont d'ailleurs subi aucune modification importante dans leurs détails, mais l'on a pu pratiquement appliquer le compresseur de l'appareil de 100 kilogrammes de glace à l'heure à la machine de 150 kilogrammes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au point de vue de l'entretien, la disposition verticale des faisceaux tubulaires présente de grandes facilités de nettoyage, dans le cas, par exemple, où l'eau utilisée est limoneuse. De plus, c'est la seule position dans laquelle la vérification de l'étanchéité, pour l'acide sulfureux, des tubes et de leurs plaques d'assemblage soit possible.

Enfin, le mode de groupement adopté pour le compresseur, le condenseur et le réfrigérant permet de construire complètement à l'atelier les tuyauteries de jonction de ces divers organes de l'appareil et d'éviter ainsi un travail quelquefois difficile à exécuter dans certains pays exotiques dépourvus de ressources industrielles.

Les seuls tuyautages à établir ou à finir au moment du montage sont ceux d'amenée de l'eau de condensation et de circulation de la solution réfrigérante ; leur établissement ne comporte aucune difficulté spéciale et rentre dans la catégorie des travaux de chaudronnerie ordinaire.

Tels sont les principaux avantages que semble réunir le nouveau type de machine à froid de la Compagnie de Fives-Lille. Ils sont assez importants, au point de vue de l'industrie d'exportation, pour que nous ayons cru devoir indiquer d'une façon précise les détails de construction qui les déterminent.

MACHINE À CHLORURE DE MÉTHYLE.

Cet appareil a fait son apparition il y a quelques années seulement (1880). Imaginé et étudié par M. Vincent à la suite de ses travaux sur le chlorure de méthyle, il est actuellement construit par MM. Douane et Jobin, de Paris. Le type exposé correspond à une production de 150 kilogrammes à l'heure et fabrique de la glace. La force absorbée est de 11 chevaux. La consommation d'eau de 1 mètre cube 5 à l'heure.

Il n'est pas inutile de donner ici quelques détails sur l'agent frigorifique employé.

Les propriétés générales du chlorure de méthyle sont les suivantes :

Gazeux à la température ordinaire, il possède une odeur éthérée et une saveur sucrée ; il peut être aspiré à haute dose impunément.

A l'état gazeux, sa densité est 1,238 et à 0 degré, le poids du litre est de 2 gr. 261. L'eau dissout 22 fois son volume de gaz à la température de 16 degrés et à la pression de 765 millimètres. L'alcool absolu en dissout 36 fois son volume dans les mêmes conditions.

Le chlorure de méthyle est peu combustible et sa combustion produit de l'acide carbonique, de l'acide chlorhydrique et de l'eau. La flamme de ce produit s'éteint avec la plus grande facilité, car elle est très peu chaude et fortement chargée d'acide chlorhydrique. Pour brûler un volume de chlorure de méthyle, il faut la présence de sept volumes et demi d'air, proportion qui ne semble devoir jamais être réalisée dans des appareils fermés et en marche normale.

Neutre, le chlorure n'attaque aucun métal et n'agit pas chimiquement sur la graisse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et sur la glycérine; il peut donc lubrifier les pistons des pompes et se conserver dans tout vase suffisamment résistant. Il est indécomposable par l'eau, l'air ainsi que les vaporisation et compression successives qu'il subit. Comprimé et refroidi, il se résout en un liquide incolore, très mobile et bouillant à 23°,73 au-dessous de zéro sous la pression de 760 millimètres. Il peut donc être supérieur à l'acide sulfureux quand il s'agit de produire de basses températures.

La tension de vapeur assez faible de ce produit rend sa liquéfaction commode, son transport facile et son emploi avantageux pour la production du froid; ainsi à 15 degrés la tension de sa vapeur est de 4 atmosphères 10, à 20 degrés de 4 atmosphères 81, et à 25 degrés de 5 atmosphères 62.

Le chlorure de méthyle est un produit de fabrication industrielle que l'on peut se procurer en tout temps et qui est moins coûteux que les autres agents frigorifiques. On le prépare en grande quantité pour la fabrication des couleurs dérivées de la houille, pour la production du froid et enfin pour les besoins de la médecine qui depuis quelques années l'utilise comme anesthésique.

Il s'obtient facilement et en abondance au moyen des vinasses, résidus des distilleries de betteraves, et aussi en traitant l'alcool méthylique par l'acide chlorhydrique. Dans l'un et l'autre cas, le chlorure gazeux obtenu est purifié par l'action d'une lessive de soude, desséché et liquéfié par compression. On l'emmagasine dans des cylindres en tôle d'acier d'une contenance de 2 à 200 kilogrammes qui servent pour son transport et dont le robinet est protégé par un couvercle.

Les pompes de compression du système Vincent sont rangées en deux catégories différentes suivant la puissance de la machine.

Dans les appareils de 20 à 100 kilogrammes de glace à l'heure, la pompe ne comprend qu'un seul cylindre, ouvert à sa base inférieure, dont le piston et les organes qui le commandent, bielle, arbre coudé, sont enfermés dans une cage en fonte hermétiquement close. Cette cage est remplie de glycérine jusqu'au-dessus du stuffing-box qui donne passage à l'arbre coudé, de manière à obtenir un joint liquide autour de cet arbre et à éviter les pertes de chlorure; un bouchon à vis permet la vidange de la cage.

Le cylindre est pourvu d'une enveloppe à circulation d'eau froide. Son fond supérieur présente un orifice qui le met en communication avec la chambre où sont logés les clapets d'aspiration et de refoulement. Ceux-ci, parfaitement accessibles, sont simplement constitués par des disques en acier avec tige à ressort réglable par un chapeau à vis. Sur l'une des parois de la cage est branché un tuyau qui ramène à l'aspiration les vapeurs qui auraient pu s'échapper du cylindre à travers les garnitures du piston.

Pour des appareils de 150 kilogrammes à plusieurs milliers de kilogrammes de glace à l'heure, les cylindres sont au nombre de deux, pour éviter l'arrêt de la machine et le mouvement de commande est apparent.

Dans les deux types le ou les cylindres travaillent toujours à simple effet du côté

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

opposé au presse-étoupe ou à l'arbre coudé. De plus la disposition verticale est la seule adoptée, d'une part, pour mettre les pompes à l'abri de toute cause de détérioration ou d'usure provenant du poids des pièces en marche, éviter les ovalisations des cylindres, des pistons et des tiges et donner à l'arbre situé à la partie inférieure de la machine une grande stabilité, et en second lieu, pour satisfaire aux conditions d'établissement qui permettent d'empêcher les fuites. La conduite est donc plus facile, l'entretien presque nul et la durée des organes plus longue.

La commande de l'arbre de couche se fait toujours par courroies au moyen d'un jeu de poulies fixe et folle, la poulie fixe, de grand diamètre, jouant aussi le rôle de volant.

Dans les appareils à deux cylindres ceux-ci sont juxtaposés. Chacun d'eux est monté sur un pilier en fonte qui porte la glissière sur laquelle manœuvre le coulisseau de la tête de la tige du piston.

Les pistons, garnis de segments métalliques, sont actionnés par un arbre muni de deux coudes placés à 180 degrés l'un de l'autre.

Pour chacun des deux cylindres, l'aspiration se produit pendant la course descendante du piston et la compression pendant la course ascendante. Les parois des deux cylindres descendent plus bas que la limite inférieure de la course du piston; au-dessous de ce niveau, ils communiquent ensemble. D'autre part, ils sont reliés l'un à l'autre par deux parois verticales qui forment, avec un plafond venu de fonte, une chambre au fond de laquelle on introduit par un orifice spécial une certaine quantité de glycérine ou de tout autre liquide non attaquable par le chlorure de méthyle. Cette chambre communique d'une façon constante avec les capacités inférieures des cylindres sous les pistons. Le volume total engendré par ceux-ci est constant, l'un des pistons montant pendant que l'autre descend. Par suite la chambre d'équilibre et l'espace laissé libre entre les pistons, lorsqu'ils sont à fin de course, forment une capacité à volume constant. Cette capacité est mise en communication par un tuyau avec la conduite d'aspiration de la pompe pour parer à toute éventualité d'une augmentation de pression qui s'y développerait par suite de l'accumulation, dans la chambre, des vapeurs qui peuvent parvenir à s'échapper autour du piston pendant la période de compression.

Le fond inférieur des cylindres est recouvert d'une couche assez épaisse de glycérine qui a pour fonction de lubrifier les organes en mouvement et de baigner les presse-étoupes des tiges des pistons.

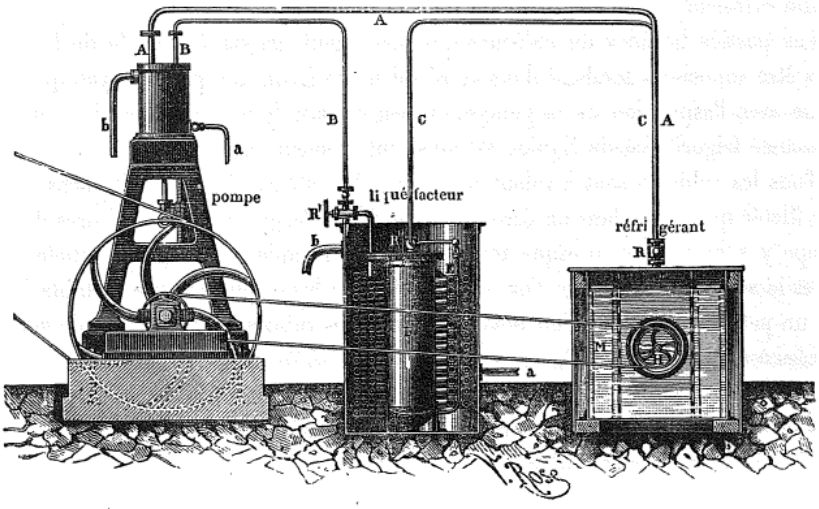
De l'ensemble de ces dispositions très simples, qui ont une grande analogie avec celles qu'a adoptées M. Fixary, il résulte que la capacité intermédiaire est toujours à une pression voisine de la pression atmosphérique qui est celle de l'aspiration et qu'en outre les boîtes à étoupes n'ont à étancher qu'un liquide visqueux au lieu d'un gaz. Les fuites de chlorure par les stuffing-box, qui sont dangereuses pour la durée des organes et finissent par épuiser l'agent frigorifique, sont à peu près impossibles avec l'emploi d'un pareil joint.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les clapets d'aspiration et de refoulement, au nombre de deux pour chaque pompe, sont logés dans les plateaux supérieurs des cylindres. Ces plateaux sont en bronze et portent les tubulures sur lesquelles se raccordent les conduites d'aspiration et de refoulement; ils sont fortement boulonnés sur les collerettes des cylindres, disposition qui rend les nettoyages plus faciles.

Les clapets sont de simples disques surmontés d'un ressort qui se déplacent automatiquement sous la pression même des gaz. Les soupapes d'aspiration sont pourvues d'un étrier qui empêcherait leur chute dans les cylindres en cas de rupture du ressort ; celles du refoulement fonctionnent sans choc grâce à l'emploi d'un amortisseur dash-pot gazeux. Un bouchon en bronze placé au-dessus de chaque clapet permet de le visiter facilement.

Les cylindres et la capacité intermédiaire sont enveloppés par une bâche en tôle dans laquelle est maintenue en circulation l'eau de refroidissement.



Machine Vincent à deux cylindres.

Le liquéfacteur, d'un modèle spécial, se compose de deux ou plusieurs serpentins concentriques en cuivre dans lesquels les vapeurs comprimées pénètrent simultanément, après avoir traversé un robinet de construction particulière. Ces vapeurs circulent de haut en bas dans les serpentins, se liquéfient dans les spires inférieures et remontent verticalement pour venir s'accumuler dans une bouteille cylindrique en tôle d'acier, qui est placée au milieu de la bâche, également cylindrique, dans laquelle sont plongés les tubes. Un tuyau plongeur muni d'un robinet amène le liquide au frigorifère.

Ce dernier appareil présente certaines dispositions originales. Il comprend un ré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

servoir rectangulaire en tôle entouré d'une enveloppe isolante de bois avec garnissage de liège en poudre. Le réservoir est partagé en trois compartiments dans le sens de sa longueur par deux cloisons en tôle.

Dans le compartiment du milieu se trouve l'évaporateur proprement dit. Il est constitué par deux serpentins en cuivre rectangulaires et concentriques et une bouteille cylindrique logée au centre des serpentins. La capacité de cette bouteille est égale à celle de la bouteille du condenseur. Les deux autres compartiments sont destinés aux mouleaux à glace: l'un, dont la largeur est double de celle de l'autre, est consacré à la fabrication de la glace transparente en gros blocs, le second à la fabrication de la glace opaque. La solution de chlorure de calcium est mise en agitation par une hélice commandée par courroie.

Le chlorure de méthyle arrive au frigorifère par un robinet spécial qui sert à régler son introduction dans les serpentins suivant la quantité et le degré de froid à obtenir. Il pénétre d'abord dans le serpentin intérieur, y circule, passe ensuite dans le serpentin extérieur et vient s'accumuler dans la bouteille.

Les parties liquides du chlorure qui pourraient arriver à l'entrée de la bouteille sans être vaporisées tombent dans ce récipient de façon que par le tuyau qui communique avec l'aspiration de la pompe, on est certain de n'aspirer que des vapeurs. La puissance frigorifique du liquide est ainsi entièrement utilisée.

Tous les robinets sont à volant et à cône obturateur. Ce cône fait corps avec une tige filetée qui passe dans un écrou fixe; les fuites de gaz par les garnitures du presse-étoupe y sont rendues presque impossibles par l'emploi d'une poche située entre la vis et le stuffing-box et que l'on remplit de glycérine, jusqu'à une certaine hauteur, par un petit orifice muni d'un bouchon à vis. Les tubulures d'entrée et de sortie sont placées à angle droit.

Telles sont les dispositions essentielles qui caractérisent la machine Vincent dont tous les détails ont été étudiés avec le plus grand soin.

MACHINES À GAZ AMMONIAC ANHYDRE.

La première machine à compression, basée sur l'emploi du gaz ammoniac anhydre, a été brevetée par M. F. Carré en 1864. La construction de cette machine, abandonnée par M. Carré, a été reprise par de nombreux inventeurs qui en ont fait le type de machines à froid le plus répandu dans l'industrie.

Le gaz ammoniac anhydre s'obtient très facilement au moyen de l'ammoniaque ordinaire, aqueuse livrée par le commerce (alcali blanc), que l'on trouve partout en abondance [1] et que l'on peut distiller soi-même au moyen d'un petit appareil accessoire de la machine.

[1] Eaux de vidanges, eaux de condensation du gaz, traitement des déchets organiques azotés, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Liquéfié, il forme un liquide incolore que l'on vend aujourd'hui dans des bouteilles spéciales; sa densité est de 0,760 environ et il bout à — 38°,5 sous la pression atmosphérique. Les tensions de ses vapeurs et celles de liquéfaction sont de 4 atmosphères 19 à 0 degré; 7 atmosphères 12 à 15 degrés; 11 atmosphères 44 à 30 degrés. Elles sont donc, à l'aspiration, supérieures à celles de l'atmosphère, ce qui a pour effet de supprimer toute rentrée d'air ou d'humidité; mais assez élevées aux températures ordinaires du condenseur, elles rendent les joints assez difficiles à maintenir et augmentent l'influence des espaces nuisibles. En raison de la grande légèreté de ce gaz, des fuites nombreuses sont à craindre.

Le gaz ammoniac possède en revanche une puissance frigorifique considérable, à peu près trois fois celle de l'acide sulfureux, sa chaleur latente de vaporisation atteignant 333 calories. Il permet donc de donner aux machines des dimensions plus réduites à égalité de froid produit, d'où résulte une économie notable dans les frais d'installation et d'entretien. Enfin il n'attaque pas les métaux autres que le cuivre et le bronze.

A l'état gazeux il n'est pas inflammable, ne s'altère pas et peut être respiré sans danger grave. La moindre fuite est indiquée par une odeur particulière et le développement d'un nuage blanchâtre qui résulte de l'absorption par le gaz ammoniac de la vapeur d'eau en suspension dans l'air. Il se comporte bien avec les huiles et les graisses sur lesquelles il exerce, prétend-on, une action saponifiante qui tend à obturer les fuites.

Machine Linde.

La machine à ammoniaque la plus ancienne après celle de Carré, et peut-être la plus perfectionnée, est celle de Linde (1875).

MM. Sulzer frères de Winterthur, qui ont entrepris en 1877 la construction des machines de ce type, n'avaient pas fait figurer à l'Exposition le compresseur ordinaire destiné aux installations fixes. Celui-ci n'est autre qu'une pompe horizontale à double effet actionnée par un moteur à vapeur, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un arbre portant deux manivelles à 90 degrés.

Ce mode de commande très rationnel présente, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, l'avantage de faire coïncider les pressions maxima aux deux cylindres moteur et compresseur, tandis que dans les pompes établies sur le prolongement de la tige de piston de la machine motrice la compression commence quand la vapeur travaille à pleine pression et s'achève quand la vapeur travaille par détente, ce qui est illogique.

Ce modèle de compresseur comporte déjà de nombreux exemplaires installés en France, notamment à Paris.

Le compresseur exposé par MM. Sulzer frères, dans la section suisse, représentait le type spécial des machines réfrigérantes pour bateaux créé tout récemment par M. Linde.

Les renseignements suivants sur les applications possibles et les avantages de ces appareils ont été fournis par les constructeurs dans une note remise au Jury.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« On sait que les navires se sont refusés jusqu'ici à adopter les machines à compression de gaz liquéfiables; ils ont toujours préféré les machines à air, malgré une consommation cinq à six fois plus forte et un encombrement proportionnel. Cette préférence, on doit le dire, était justifiée parce que le type marin manquait absolument pour les autres systèmes. On ne pouvait pas sur un bateau monter séparément machine à vapeur, compresseur, condenseur, réfrigérant et diverses pompes, et réunir entre eux ces appareils par des tuyaux. Une installation de ce genre aurait certainement donné de déplorables résultats et on préférait pour cette raison les machines à air.

« Mais aujourd'hui le type marin est créé pour la machine à compression. C'est précisément celui qui nous occupe, et nous considérons qu'il y a là une manifestation nouvelle de haute importance dans ce sujet de la production du froid.

« Cette machine porte sur un seul socle en fonte le moteur à vapeur et un compresseur Compound sur lequel nous reviendrons. Le socle renferme à l'intérieur le condenseur très accessible, malgré sa position, au moyen de très grandes portes d'accès. Il porte, en outre, d'un côté la pompe à eau puisant directement à la mer, de l'autre la pompe à air et le condenseur de vapeur. Voilà donc une installation complète, en une seule pièce, très ramassée, pouvant se placer n'importe où sur un navire. Il est intéressant de citer que cette installation est arrivée toute montée des ateliers et qu'on l'a déchargée telle qu'elle est du wagon pour la mettre en place : on n'a pas eu besoin d'un montage à pied-d'œuvre, sauf pour un tuyau qui relie l'appareil à la chambre froide. Il est évident que l'on peut agir de même sur les navires, ce qui a son importance au point de vue du temps qui serait perdu pour l'aménagement d'une telle machine à bord. Il faut dire aussi que cette machine a inspiré le plus grand intérêt aux capitaines de navires et aux importateurs de viandes qui ont eu l'occasion de la voir, et que dès son apparition quatre machines de ce type ont été commandées, ce qui prouve très bien que la machine à air va voir son domaine diminuer de plus en plus.

« Nous parlions tout à l'heure du compresseur Compound adopté pour cet appareil. Nous croyons que l'application du système Compound, composé de deux pompes à double effet, est également une innovation remarquable dans la production du froid et qui n'a été jusqu'ici réalisée par aucun constructeur [1]. Peut-être ce système a-t-il déjà été proposé précédemment, mais il est certain que c'est la première fois qu'il apparaît réalisé pratiquement et couramment en grand. Nous ajoutons immédiatement que les constructeurs sont loin de vouloir remplacer d'une façon générale la compression simple par la compression en deux temps; cette dernière est exclusivement réservée aux pays tropicaux et aux passages de l'équateur, lorsque l'on a affaire à des eaux condensantes très chaudes qui occasionnent des pressions de 15 à 16 kilogrammes par centi-

[1] L'on verra plus loin que M. Windhausen a créé en 1888 un type de compresseur qui opère également la compression en deux temps.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètre carré au refoulement. Dans ce cas, mais dans ce cas seulement, la diminution du rendement mécanique, qui est le résultat nécessaire de l'emploi de deux cylindres, est compensée et au delà, comme pour les moteurs à vapeur, par les avantages de la compression en deux temps, savoir : diminution des effets des fuites par les clapets et pistons et surtout diminution de l'effet des espaces nuisibles, diminution aussi des effets dus à la conductibilité des parois et à l'échange des températures entre celles-ci et la vapeur.

« En dehors de ces avantages, le compresseur Compound possède celui de diminuer la pression du côté des presse-étoupes. Le fonctionnement des deux compresseurs est en effet le suivant : un compresseur entier et la moitié d'avant du second refoulent les gaz à une pression de 7 à 8 atmosphères dans un réservoir intermédiaire, et ce n'est que la moitié arrière de ce second compresseur qui aspire à ce réservoir et refoule définitivement au condenseur. Il résulte de cette disposition que les deux presse-étoupes n'ont pas à supporter la charge complète de refoulement puisque ce n'est que la partie arrière, qui n'a pas de presse-étoupe, qui opère le refoulement définitif. »

Tous ces avantages assurent à la machine une augmentation sensible dans le rendement.

« L'adoption de ce système à bord des bateaux offre en outre l'avantage d'avoir toujours deux compresseurs, c'est-à-dire une double installation, dont une seule au besoin pourrait suffire. On peut accoupler les deux compresseurs au moment du chargement de la viande sur les bateaux, congeler cette viande à bord au lieu de la congeler dans des installations spéciales sur terre ferme. Une fois la congélation faite, on ne marche plus qu'avec un compresseur pour l'entretien de la température. Pour le passage de l'équateur, on peut de nouveau accoupler, et ainsi de suite. On voit que la machine, ainsi combinée, est un outil d'une extrême élasticité. Cette élasticité augmente encore par la variation possible de la vitesse, les clapets de Linde permettant une vitesse allant jusqu'à 120 tours par minute.

« Si nous avons un peu insisté sur cette machine marine à compression, c'est parce que la question des transports de viandes congelées, de la conservation des aliments à bord, du refoidissement des salons de passagers, etc., bref, la production du froid en mer est une question d'une extrême importance et toute d'actualité; c'est aussi parce que nous croyons devoir appeler l'attention des intéressés sur l'économie de charbon qu'ils peuvent faire en remplaçant l'encombrante machine à air par un bon système à compression de gaz ammoniac. »

L'opinion publique a apprécié, comme elles le méritaient, les dispositions vraiment ingénieuses de cette machine dont un grand nombre d'exemplaires ont été commandés pendant la durée de l'Exposition.

Quelques détails de construction sont intéressants à connaître.

M. Linde a admis presque exclusivement pour ses compresseurs la disposition horizontale à double effet. Le compresseur horizontal est moins encombrant et moins

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

coûteux que la pompe verticale. D'autre part, le compresseur à double effet est plus actif, demande un mécanisme plus simple et entraîne par suite des frottements plus réduits, un emplacement et un entretien moindres que le compresseur à simple effet où tous les organes sont en double et les joints et les garnitures plus nombreux. D'après M. Linde, comparer ces deux systèmes de compresseurs, c'est mettre en parallèle les anciennes machines à vapeur à simple effet avec les meilleurs moteurs Compound des temps modernes.

Toutes les parties des compresseurs sont facilement accessibles et les joints sont aussi hermétiques que possible de façon à éviter les rentrées d'air si désastreuses au point de vue de l'effet utile à produire.

Les pistons en deux parties sont munis de fonds bombés très soignés épousant très exactement la forme des fonds des cylindres et réduisant mécaniquement au minimum le volume des espaces nuisibles. Les deux rangées de segments en fonte que porte chacun d'eux se détendent également sur toute leur circonférence. Les soupapes automatiques, au nombre de quatre, sont maintenues sur leurs sièges par des ressorts.

Elles ne présentent aucune disposition particulière, si ce n'est que celles de l'aspiration épousent exactement, comme les pistons, la forme des fonds de cylindres, de sorte que les espaces nuisibles seront réduits au minimum. Ainsi, dans les grandes machines où la course est de 540 millimètres, le jeu est à peine de 1 millimètre, soit moins de 2 millièmes d'espace nuisible.

La construction de la boîte à étoupes de la tige du piston a été l'objet de soins tout particuliers, de sérieuses recherches et d'améliorations successives auxquelles la machine Linde doit ses multiples et importantes applications.

L'appareil travaillant à double effet, à chaque coup de piston le côté aspiration du cylindre devient côté compression et inversement. La pression au côté compression atteint 8 à 10 atmosphères, tandis qu'à l'aspiration elle n'atteint que 3 atmosphères, lorsque la machine est employée au refroidissement de l'eau ordinaire, et descend même à 1 atmosphère et demie, lorsque l'on refroidit de l'eau salée ou que l'on fabrique de la glace. La variation de pression est donc importante, mais, dans tous les cas, la pression minima qui s'exerce dans la machine est supérieure à la pression atmosphérique. Par suite du mouvement de va-et-vient de la tige du piston, des fuites seraient donc inévitables si M. Linde n'avait eu recours à une disposition spéciale qui repose sur l'emploi d'un joint liquide contrairement aux idées de certains constructeurs qui préconisent le joint congelé.

Ce liquide, dans les premières machines construites, était la glycérine; cette matière donnait d'excellents résultats comme graissage, mais elle offrait l'inconvénient d'absorber de notables quantités de gaz ammoniac surtout à la pression du refoulement et de nécessiter par suite l'emploi d'un appareil spécial et compliqué pour sa rectification. Dans les machines actuelles, M. Linde remplace la glycérine par une huile minérale très légère et incongelable, d'excellente qualité, provenant des premières

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

distillations du pétrole et dont le pouvoir absorbant en présence du gaz ammoniac est beaucoup moins élevé.

L'inventeur fait remarquer, en effet, que malgré toutes les précautions prises, quelque efficaces qu'elles puissent paraître, la matière lubrifiante pénètre toujours dans le cylindre, les clapets et les serpentins.

Cet entraînement de l'huile dans le cylindre paraît impossible au premier abord, puisque la pression dans cette capacité est toujours supérieure à la pression atmosphérique. M. Linde en donne l'explication suivante : la quantité d'huile infiniment petite qui reste adhérente à la tige du piston pendant la rentrée de celle-ci dans le compresseur y absorbe du gaz ammoniac surtout sous l'influence de la pression élevée qui existe dans le cylindre; son volume augmente et au retour de la tige une partie de cette huile saturée de gaz ammoniac est retenue par la bague de fond du presse-étoupe et pénètre avec les vapeurs comprimées dans le condenseur.

Si cette matière était congelable, elle finirait par tapisser intérieurement les parois des serpentins et intercepter en partie la transmission du froid; elle pourrait même, en obstruant les tuyaux et les robinets, causer des chômages fréquents.

Le mélange d'huile et de gaz ammoniac qui reste liquide aurait également pour effet, en pénétrant dans les serpentins du réfrigérant, de nuire au rendement frigorifique en développant, à égalité de tension, des températures supérieures à celles obtenues avec le gaz ammoniac pur, l'huile s'opposant à la volatilisation complète du liquide. Enfin si l'entraînement de l'huile offre l'avantage d'assurer le graissage automatique du piston et des organes intérieurs du cylindre, il peut aussi devenir tel qu'il ne reste plus à un moment donné qu'une quantité insuffisante de lubrifiant dans la garniture.

Dans ces conditions, la séparation de l'huile et du gaz ammoniac et le renouvellement continu du joint liquide du presse-étoupe sont d'une importance capitale. M. Linde les a réalisés avec succès à l'aide de dispositifs ingénieux.

L'espace compris entre la boîte à étoupes, fondue avec le cylindre, et la tige du piston est rempli par une bague en métal blanc.

Les garnitures sont au nombre de deux, comprenant entre elles une chambre dite d'arrêt formée par une lanterne ajustée à frottement doux sur la tige du piston. Cette lanterne se compose simplement de deux plateaux annulaires en fonte réunis par des tiges de fer ou d'une seule pièce cylindrique ajourée.

Chaque garniture comprend trois tresses de coton et elle est faite avec le plus grand soin. La garniture extérieure est serrée par un presse-étoupe en fonte, dans l'épaisseur duquel est réservée une seconde chambre de petites dimensions qui renferme l'huile incongelable et enveloppe la tige du piston. Elle est reliée par un tube en caoutchouc ou en métal à un collecteur d'huile placé au-dessous du presse-étoupe et dans lequel aspire une petite pompe. On refoule ainsi d'une manière continue l'huile dans la chambre; un trop-plein, fixé sur la partie supérieure du chapeau du presse-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étoupe, ramène au collecteur l'huile qui n'a pu entrer dans les garnitures et le compresseur. Ce graissage abondant et régulier combat très efficacement l'échauffement de la tige du piston qui est tout au plus tiède, ainsi qu'on a pu le constater sur les machines en marche.

Un second presse-étoupe de faibles dimensions, ou bague en métal antifriction, est logé dans le premier où il presse une nouvelle garniture en caoutchouc. Cette garniture, qui n'a à supporter que la pression assez faible de l'aspiration, sert à retenir l'huile qui tendrait à s'échapper de la chambre vers l'extérieur.

Dans ces conditions, l'on voit que toute déperdition de gaz ammoniac est impossible, si l'on fait passer dans la chambre extérieure une quantité d'huile suffisante pour absorber celui-ci d'une façon certaine. En réalité, les pertes sont réduites au minimum même lorsque l'état des garnitures intérieures est défectueux.

En effet, les petites quantités d'huile qui restent fixées par adhérence sur la tige du piston et parviennent, malgré la garniture extérieure, à pénétrer dans la lanterne où elles sont arrêtées, absorbent les vapeurs ammoniacales qui ont traversé la première garniture. Cette absorption se faisant pendant la période de compression, l'huile contenue dans la lanterne se sature beaucoup plus rapidement que celle de la chambre extérieure; aussi la lanterne est-elle mise en communication directe avec un appareil distillatoire où l'huile est d'abord dirigée afin de se dépouiller de gaz ammoniac avant de retourner à son réservoir collecteur. Cet appareil rectificateur, spécial, étant lui-même en communication constante avec l'aspiration du compresseur, la pression dans la partie avant du presse-étoupe est simplement celle de l'aspiration, de 1 kilogramme à 1 kilogr. 5 en marche normale. Cette combinaison semble enlever toute raison d'être aux compresseurs pourvus de deux cylindres à simple effet, sous prétexte de réduire les pressions qui s'exercent sur le presse-étoupe.

D'un autre côté, les particules d'huile entraînées en faible quantité dans le compresseur par le jeu du piston sont recueillies dans un vase séparateur, ayant la forme d'un sécheur de vapeur et intercalé entre le compresseur et le condenseur sur le tuyau de refoulement. Ce vase s'oppose donc à l'introduction et à la circulation de l'huile dans les serpentins du condenseur et du réfrigérant.

L'huile minérale qui se rassemble en gouttelettes au fond du séparateur est également conduite par un tuyau muni d'un robinet à l'appareil rectificateur.

Cet appareil, qui a subi quelques modifications dans ces dernières années, se compose actuellement de deux vases de diamètres différents logés concentriquement l'un dans l'autre. Le vase extérieur, ouvert à son sommet, est constitué par un bain-marie ou traversé par un courant ascendant et continu d'eau chaude (provenant par exemple de la condensation de la machine motrice). Le vase intérieur fermé contient l'huile à rectifier; il porte sur son couvercle une tubulure reliée par des conduites, d'une part, à la lanterne du stuffing-box et de l'autre au robinet du séparateur. Une seconde tubulure met le vase en communication avec le tuyau d'aspiration; son fond

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inférieur porte un tube de départ d'huile en forme de siphon renversé, avec robinet d'évacuation.

Sous l'influence de la chaleur et du vide partiel produits dans le rectificateur, et en raison de la différence des densités, les vapeurs ammoniacales se dégagent et retournent à l'aspiration du compresseur. On extrait l'huile rectifiée par le robinet du bas; on la laisse se décanter dans un vase et on la verse, ou elle est reversée automatiquement, dans le collecteur d'huile où elle est reprise à nouveau pour le graissage de la pompe. On réalise ainsi une certaine économie dans les frais d'entretien et d'exploitation. Pour une machine de 1,000 kilogrammes, la rectification de l'huile se fait à peu près tous les dix jours, c'est-à-dire quand la quantité qui a passé par le presse-étoupes est de 10 litres. Cette opération ne demande que deux heures.

M. Linde a rendu automatique le passage de l'huile à rectifier du collecteur au rectificateur. Il se sert dans ce cas d'un robinet rotatif dont la tige porte une roue d'engrenage mue par une vis sans fin qui est commandée elle-même par l'arbre moteur. En reliant le robinet du rectificateur au réservoir d'huile et en réglant convenablement les ouvertures des robinets, on a pu réaliser un circulus complet de l'huile à travers la machine et l'appareil de rectification.

D'autre part, il est à remarquer que les compresseurs de M. Linde sont dépourvus de toute circulation d'eau rafraîchissante. On sait que dans la plupart des machines à compression, les vapeurs aspirées au compresseur ne sont plus en contact avec leur liquide générateur et que dans ces conditions elles se comportent comme des gaz parfaits, c'est-à-dire qu'elles peuvent être refroidies sous pression constante sans se condenser; elles se surchauffent donc pendant la compression. Il résulte de cette surchauffe une augmentation notable de la force motrice que nécessiterait la compression isothermique et par suite une diminution du rendement.

Pour remédier à cette perte, il faudrait évidemment maintenir saturées d'une façon constante les vapeurs à comprimer en introduisant dans le compresseur, à chaque opération, une quantité de liquide telle qu'à la fin de la compression tout ce liquide soit passé à l'état de vapeur. Il y a là une difficulté qu'il est possible de vaincre. M. Linde l'a résolue d'une façon très heureuse par le simple réglage de la soupape régulatrice placée sur la conduite qui relie le réfrigérant au condenseur, réglage qui permet de laisser circuler dans les appareils, en dehors des vapeurs, quelques gouttelettes de liquide entraînées mécaniquement. Aucune disposition n'a donc été prévue pour combattre la surchauffe qui n'existe pas, ainsi qu'il était facile de le constater sur la machine exposée dont le tuyau de refoulement était très légèrement chaud. Dans ces conditions, la construction du compresseur devient plus simple et son rendement plus élevé.

Toutes ces dispositions sont ingénieuses et efficaces; il y avait lieu de les décrire en détail, car elles constituent, notamment celles qui concernent le graissage, le principal mérite des machines Linde.

Le condenseur se compose d'une série de serpentins en fer soudés d'une seule

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pièce sur toute leur longueur; ils affectent la forme cylindrique et sont placés concentriquement les uns aux autres. Un agitateur à axe vertical muni de palettes maintient en circulation énergique et constante l'eau de condensation qui est animée dans la cuve d'un mouvement ascendant.

L'évaporateur est construit de la même façon que le condenseur. La solution incongelable circule dans le bac sous l'impulsion de plusieurs agitateurs parallèles au grand axe de la cuve et mus par autant de poulies à gorge. Les serpentins détendeurs sont composés de tubes répartis en plusieurs séries et placés parallèlement les uns aux autres un peu au-dessus du fond de la cuve.

Les constructeurs affirment que ce système de machine procure sur les autres une économie notable de force, d'ammoniaque et d'eau (celle-ci d'environ 40 p. 100). Sa construction est d'ailleurs particulièrement soignée, la marche très simple et très régulière et la sécurité presque absolue.

La machine exposée appartient au type n° 6, produisant 250 kilogrammes de glace à l'heure. Le diamètre du piston moteur est de 275 millimètres, sa course de 400 millimètres; les dimensions correspondantes sont pour les compresseurs 180 et 240 millimètres. Le nombre de tours commun est de 90 à la minute. Cette machine fabriquait de la glace en gros blocs et produisait le froid destiné à une chambre de conservation; elle peut refroidir une chambre de 200 à 300 mètres cubes suivant le degré de la température à obtenir. La force employée est de 10 chevaux-vapeur.

Machine Fixary.

Les machines Fixary présentent une certaine analogie avec les machines Linde; d'invention relativement récente (1883-1885), elles n'ont reçu d'application vraiment importante qu'en 1887. Construites par la Société des constructions mécaniques spéciales de la rue Lecourbe, elles étaient représentées à l'Exposition par un appareil de 500 kilogrammes de glace à l'heure, installé dans le Palais des machines (classe 50) et produisant du froid et de la glace, et par un second type de moindre importance (5,000 frigories) qui alimentait la chambre frigorifique installée par la même Société a l'Esplanade des Invalides (classe 66).

La production du froid est aussi obtenue dans le système Fixary, au moyen de la détente continue du gaz ammoniac.

La pompe de compression présente quelques particularités nouvelles et remarquables qui distinguent cette machine de ses congénères. Elle est caractérisée notamment par l'emploi d'un presse-étoupe d'assez grande longueur dont la garniture est constituée simplement, à l'inverse des machines Linde, par une gaine d'huile congelée, sans serrage, et malgré cela assurant, au dire des constructeurs, une étanchéité absolue.

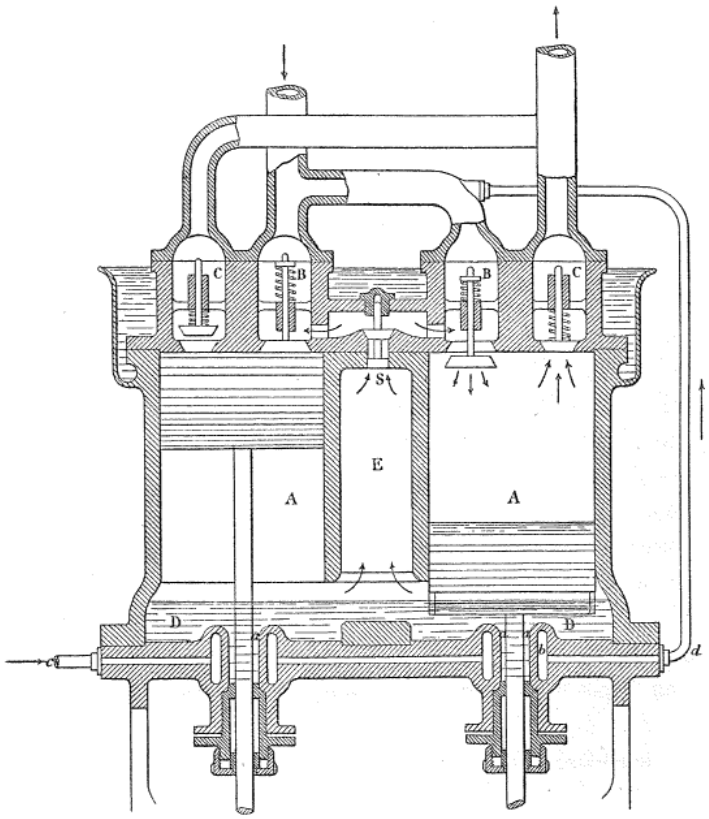
Nous donnerons la description de cet organe prépondérant de la machine d'après une notice publiée par la Société.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pompe de compression se compose de deux corps verticaux et cylindriques placés parallèlement. Chacun d'eux est pourvu à sa partie supérieure d'une soupape d'aspiration et d'une soupape de refoulement. Elles servent la première à aspirer les vapeurs dans le congélateur et la deuxième à les refouler dans le liquéfacteur. Le gaz ammoniac n'est donc en contact avec les pistons que par leur face supérieure et ceux-ci travaillent par suite à simple effet. La disposition verticale permet de maintenir au-dessus du piston une couche d'huile de quelques millimètres d'épaisseur, de sorte que lorsqu'ils arrivent alternativement au sommet de leur course, cette huile vient remplir les espaces nuisibles, soulever les soupapes en les lubrifiant et refouler en même temps dans le condenseur la totalité des vapeurs aspirées.

MACHINE FIXARY (TYPE VERTICAL).

Coupe du compresseur.



Au bas de chaque cylindre on a ménagé un espace libre, dénommé *chambre d'huile*, d'un diamètre plus grand que celui des pistons et constamment rempli, jusqu'à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une hauteur déterminée (environ les deux tiers), d'huile lourde minérale congelable à — 20 degrés. A fin de course, chaque piston vient plonger dans ce bain sa face inférieure et une portion de sa face latérale sur laquelle des cannelures ont été pratiquées. Celles-ci, après s'être chargées d'huile à chaque coup de piston, lubrifient le corps de pompe dans leur course ascendante en même temps qu'elles absorbent une partie de la chaleur de compression, ce qui évite l'emploi d'un système de refroidissement spécial des cylindres.

Les chambres d'huile communiquent latéralement avec un compartiment appelé *chambre d'équilibre*, situé entre les deux corps de pompe et qui forme au-dessus du bain d'huile une sorte de cloche ou de réservoir. Dans le fond supérieur de cette chambre est logée une soupape dite *soupape d'équilibre*, qui, en se soulevant, met en communication directe par deux conduits latéraux le compartiment d'équilibre et les soupapes d'aspiration des cylindres. Cette disposition simple et ingénieuse suffit pour assurer le bon fonctionnement du compresseur.

On sait, en effet, que tout piston, quelque parfaite que soit son étanchéité, lorsqu'il comprime à une pression relativement élevée un gaz volatil, laisse immédiatement passage à des fuites au travers de ses garnitures. Or, dans la pompe Fixary, ces fuites de gaz passent d'abord dans les chambres d'huile où elles s'imprègnent de lubrifiant et viennent s'accumuler ensuite sous une certaine pression, qui va sans cesse en grandissant, dans la chambre d'équilibre. Dès que cette pression atteint celle de l'aspiration, soit une atmosphère à une atmosphère et demie, la soupape d'équilibre convenablement réglée se soulève, le gaz chargé d'huile s'échappe et, immédiatement aspiré dans les corps de pompe, vient entretenir la couche d'huile nécessaire au remplissage des espaces nuisibles, tout en graissant sur son passage les soupapes d'aspiration et aussi celles de refoulement. De cette façon, les fuites de gaz à travers les pistons sont non seulement réintégrées dans le corps de pompe, mais encore utilisées pour assurer le graissage automatique de tous les organes du compresseur.

De plus, la soupape d'équilibre se soulevant dès que la pression qui s'exerce au-dessous des pistons dépasse légèrement une atmosphère, les presse-étoupes ne supportent qu'une pression très réduite. Le poids de la soupape est calculé simplement de façon à maintenir au-dessus des presse-étoupes une certaine pression destinée à combattre les rentrées d'air dans la pompe, lorsque l'on veut maintenir le vide dans la conduite d'aspiration.

Ici se place un dispositif intéressant mais dont l'efficacité a été l'objet de controverses nombreuses [1].

Pour assurer l'étanchéité de la pompe et empêcher que les tiges des pistons n'entraînent à travers les presse-étoupes, dans leur mouvement de va-et-vient, des vapeurs chargées de gaz ammoniac, chaque boîte à étoupes est surmontée d'un fourreau entouré

[1] Notamment au Congrès de mécanique appliquée. (Voir les observations de M. Diesel dans les bulletins de la Société d'encouragement de novembre et décembre 1889.)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'une enveloppe circulaire venue de fonte avec le plateau qui ferme les orifices inférieurs des cylindres. Dans cette chemise on maintient pendant la marche la détente d'une dérivation du gaz ammoniac qui est renvoyée dans l'aspiration après avoir produit son effet.

Sous l'action du froid produit, l'huile contenue dans le fourreau se solidifie progressivement en formant un joint serré et compact dit *pâteux* qui assure, avec le refroidissement constant et rationnel des tiges et des pompes, l'imperméabilité des presse-étoupes et la réduction du frottement au minimum par la suppression totale du serrage des garnitures.

Grâce à ces dispositions spéciales, les constructeurs affirment que les fuites de gaz, si fréquentes et si coûteuses dans les machines à compression, disparaissent d'une façon absolue, que le joint est tellement étanche qu'il permet même de desserrer en marche le presse-étoupe sans s'exposer à la sortie du gaz et que, dans ces conditions, certaines machines ont pu fonctionner plusieurs années consécutives sans qu'on ait eu à renouveler leur charge d'ammoniaque.

Le gaz ammoniac détendu, aspiré du congélateur dans les compresseurs, est refoulé par eux dans le condenseur en passant au préalable dans un épurateur ou séparateur d'huile monté sur la cuve de ce dernier.

Cet appareil, dont la construction et la fonction sont analogues à celles des antiprimeurs des générateurs à vapeur, est constitué par un cylindre en fonte à fond conique dans lequel sont logées verticalement plusieurs chicanes concentriques en tôle perforée.

L'huile, entraînée hors de la pompe par le gaz ammoniac refoulé, se sépare et tombe, en raison de sa densité, au fond de l'égoutteur tandis que le gaz purifié en sort à la partie supérieure pour passer dans le liquéfacteur où, sous l'influence simultanée de la pression et d'un courant continu d'eau froide, il repasse à l'état d'ammoniaque liquide.

Ce liquide et l'huile séparée du gaz se rendent dans un récipient divisé en deux compartiments superposés : le compartiment supérieur formant le magasin de réserve de l'ammoniaque destinée à assurer la régularité de la détente, le compartiment inférieur recueillant l'huile pour la diriger ensuite automatiquement, sous la pression du compresseur, dans les chambres d'huile des cylindres et autour des stuffing-box. De cette façon, ce sont seulement des parcelles d'huile en quantité et en volume pratiquement négligeables qui peuvent parvenir à s'introduire dans les serpentins du réfrigérant.

Le gaz liquéfié, après avoir traversé le robinet détendeur et régulateur, arrive au réfrigérant en quantité proportionnelle à la somme des frigories à produire. Après s'être détendu dans ce dernier appareil et avoir refroidi la solution incongelable, l'ammoniac gazeux revient à l'aspiration du compresseur.

Le condenseur et l'évaporateur du type Fixary ne présentent aucune disposition particulièrement intéressante. Les serpentins, en fer ou en acier de première qualité, sont disposés généralement en plusieurs séries de façon qu'en cas d'accident à l'une d'elles, la machine puisse continuer à fonctionner. Chaque serpentin du condenseur, de petit diamètre et d'une seule pièce, est éprouvé à une pression triple de celle qu'il doit supporter. Dans certains cas, l'échange des températures peut être facilité par un agitateur à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

palettes placé horizontalement au centre de la cuve et actionné mécaniquement. L'eau qui a servi au refroidisseur est utilement employée pour l'alimentation du générateur.

La Société des constructions mécaniques spéciales construit deux types de machines: l'un vertical, où le compresseur est commandé par courroie; l'autre horizontal où le piston du compresseur et celui du moteur à vapeur sont montés sur la même tige.

Le type vertical comprend:

1° Des machines portatives de 5 et de 10 kilogrammes de glace à l'heure, à un seul cylindre, dont nous parlerons dans un autre chapitre;

2° Des machines industrielles produisant de 25 à 1,800 kilogrammes de glace, à deux cylindres.

Les machines à deux cylindres ont leurs pistons accouplés par deux manivelles à 180 degrés, de sorte que les avaries qui peuvent survenir à l'un des cylindres n'entraînent pas l'arrêt forcé du second. Cette sécurité dans la production continue du froid ainsi que la non-ovalisation des cylindres et la moindre fatigue du presse-étoupe, et, par suite, un entretien moins coûteux et une durée plus longue, compensent le prix et l'encombrement des machines à simple effet qui sont plus considérables que ceux des appareils similaires à double effet.

Les soupapes sont en fer ou en acier, coniques et à ressort et leur mouvement est automatique; celles de l'aspiration sont pourvues d'un écrou de sûreté qui s'oppose à leur chute dans le cylindre en cas de rupture du ressort. Toutes, logées en haut des cylindres, où elles sont refroidies par une circulation d'eau, sont parfaitement accessibles.

Pour toutes les productions inférieures à 300 kilogrammes à l'heure, la pompe, le condenseur et le récipient de gaz sont montés sur le même bâti, les deux premiers supportés par des colonnes et établis au même niveau. L'ensemble est dans ce cas compact et peu encombrant.

L'emploi du joint congelé pour le presse-étoupe a permis aux constructeurs de créer, pour les productions de glace dépassant 300 kilogrammes à l'heure et allant jusqu'à 2,000 kilogrammes, un type de machine horizontale à un seul cylindre et à double effet. Le joint hydraulique, dans ce cas, est d'autant plus utile et plus efficace que le stuffing-box est directement soumis à la pression complète du refoulement. Le compresseur est placé dans le prolongement du cylindre moteur sur le même bâti; on supprime ainsi tout mécanisme intermédiaire, et le prix de la machine est diminué d'autant.

Pour éviter toutes fuites de gaz du côté du presse-étoupe, on a pris la précaution de donner à celui-ci une très grande longueur; le joint pâteux est plus long que la course du piston, de sorte que la partie de la tige qui pénètre dans le corps de pompe ne circule jamais dans l'atmosphère extérieure. La pression du refoulement est normalement de 8 à 9 atmosphères suivant la température de l'eau de condensation; dans les pays chauds elle peut atteindre 11 à 12 atmosphères.

Les joints des tuyauteries qui relient entre eux les principaux organes de la machine Fixary sont, comme tous les détails de cette machine, bien étudiés et soignés. Ils

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appartiennent à deux types : l'un à un seul encastrement pour les pressions faibles, le second à double encastrement pour les pressions élevées. Ce dernier est formé d'une rondelle en caoutchouc toilé qui se monte sur le plus grand diamètre du joint, et d'une rondelle en plomb qui se place sur le petit; celle-ci est inférieure en épaisseur (1 millimètre) à la première sur laquelle le serrage doit être opéré. Le joint à un seul encastrement est formé d'une seule rondelle de caoutchouc de 2 millimètres d'épaisseur.

En raison des perfectionnements que présente leur type de compresseur et qui sont réels, les constructeurs indiquent une consommation de charbon et d'eau inférieure à celle des autres systèmes de machines frigorifiques.

Machines Lebrun et Rouart.

Nous croyons devoir signaler également, dans la catégorie des appareils à froid basés sur l'emploi du gaz ammoniac anhydre, deux machines d'invention récente que leurs constructeurs, malgré la demande d'emplacement qu'ils avaient adressée au Comité d'admission, n'ont pu terminer assez tôt pour qu'elles pussent figurer à l'Exposition de 1889 où elles auraient sans aucun doute, par certains dispositifs nouveaux, attiré l'attention du public. Nous voulons parler des machines Lebrun et Rouart frères.

Machine Lebrun. — M. Lebrun a cherché en 1887-88 à réaliser un appareil à compression de gaz ammoniac qui, par ses dispositions simples et pratiques et par son prix de vente peu élevé, permît l'extension rapide et économique des applications du froid artificiel.

L'inventeur s'est attaché principalement à résoudre le problème de l'établissement des garnitures étanches pour la tige du piston du compresseur [1]. La constitution d'un presse-étoupe sans fuite est, comme on le sait, le point le plus délicat dans la construction des machines frigorifiques, le mouvement alternatif de la tige du piston rendant son usure inégale et plus considérable au milieu de la course qu'aux extrémités.

Le moyen employé diffère suivant qu'il s'agit de machines dont la production est inférieure ou égale à 250 kilogrammes de glace à l'heure ou de machines de puissance supérieure.

Dans le premier cas, il consiste dans la suppression du mouvement alternatif extérieur (et, par suite, du bourrage de la tige) et son remplacement par l'attaque directe de celle-ci en son milieu à l'aide d'un arbre rotatif baigné dans l'huile et ne comportant qu'un presse-étoupe unique. A cet effet, le compresseur à double effet a été transformé en deux corps de pompe à simple effet montés sur le prolongement l'un de l'autre et séparés par un récipient formant bâti et surmonté d'une cloche. Les deux pistons opposés, qui sont en fonte et garnis de cercles suédois élastiques, sont réunis par leurs

[1] Voir la note de M. Lebrun au Congrès international de mécanique appliquée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tiges en fer à un cadre rectangulaire poli à larges surfaces frottantes dans lequel glisse dans le sens vertical le coulisseau du tourillon central d'un arbre coudé en acier logé dans le bâti. Les tourillons d'appui de ce dernier tournent, l'un dans une boîte fermée, le second dans un long presse-étoupe à garnitures. L'extrémité extérieure de l'arbre est portée par deux supports à coussinets de bronze phosphoreux entre lesquels tournent deux poulies : l'une, poulie-volant fixe et l'autre, poulie folle pour arrêt de l'appareil.

Ce genre de commande a déjà été appliqué à diverses machines, mais il n'a pas donné de bons résultats quand le cadre était moteur et l'arbre coudé récepteur. Il n'en est pas de même dans le cas présent, où l'arbre est moteur et le cadre récepteur; la transmission se fait avec beaucoup de douceur et les deux pistons opposés forment un guidage parfait.

Le récipient et la cloche qui le surmonte sont remplis d'huile jusqu'à moitié de la hauteur de celle-ci; les pièces frottantes sont constamment lubrifiées et leur usure est réduite à son minimum. Il n'y a donc que de l'huile qui peut passer par le presse-étoupe de l'arbre. Cette huile a le double but d'assurer le parfait fonctionnement de l'articulation de l'arbre coudé avec les pistons, tout en donnant à ceux-ci une étanchéité parfaite. De plus, l'huile, qui peut passer à travers les pistons pendant la période d'aspiration par le fait du mouvement de va-et-vient, remplit les espaces nuisibles compris entre les extrémités des corps de pompe et les fonds portant leurs soupapes et donne un effet utile presque théorique.

Le niveau de l'huile dans le réservoir-bâti est donné par un indicateur spécial pourvu d'une disposition particulière, assurant la fermeture rapide des robinets, en même temps que l'examen facile du niveau, sans crainte, comme avec les indicateurs ordinaires, qu'une brusque rupture du tube puisse entraîner l'écoulement d'une certaine quantité de liquide avant la fermeture du robinet ou en l'absence du conducteur de la machine. Cette disposition consiste à fixer un contrepoids sur l'un des leviers de manœuvre des robinets et à relier invariablement ce levier à l'autre au moyen d'une petite bielle; le soulèvement du contrepoids détermine l'ouverture des robinets, et la fermeture se fait automatiquement dès que le contrepoids est abandonné à lui-même.

Sur la partie supérieure du bâti-cloche est monté un séparateur d'huile à chicanes, dans lequel vient passer le gaz ammoniac refoulé par les pompes. L'huile entraînée, dont le niveau est aussi donné par un indicateur, se dépose dans cet appareil d'où on la renvoie de temps à autre, directement et à l'aide d'un robinet-soupape spécial, dans la cloche inférieure qui est en communication constante par son sommet avec la tuyauterie d'aspiration des pompes. L'huile renfermée dans le bâti n'est donc soumise qu'à cette pression d'aspiration (1 à 2 kilogrammes); il en est de même pour le presse-étoupe de l'arbre coudé. De plus, l'ammoniaque qui aurait pu s'échapper autour du piston lors de la compression, vient s'accumuler et se détendre au sommet de la cloche, d'où elle retourne avec le gaz entraîné par l'huile à l'aspiration des pompes. On remar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quera que le seul presse-étoupe de la machine n'est jamais en contact avec l'ammoniaque, ce qui est un grand avantage, et que l'huile peut servir indéfiniment. La conduite de la machine est donc facile. Pour visiter et au besoin réparer la glissière et les coussinets, il suffit de faire écouler l'huile du réservoir et de démonter les plaques de regard de la cloche inférieure.

Avant de se rendre au condenseur, le gaz ammoniac déjà purifié traverse un filtre en toile métallique de forme conique, placé à la partie supérieure du séparateur dans une sorte de chapeau et destiné à retenir les dernières parcelles d'huile entraînée.

Tous ces dispositifs mécaniques, simples, ingénieux, efficaces se retrouvent en partie dans la construction des appareils dont la production est supérieure à 250 kilogrammes.

Cependant dans ces types puissants, pour ne pas donner aux cloches des dimensions et des poids trop considérables et utiliser une quantité d'huile trop onéreuse, l'inventeur a été conduit à remplacer la commande intérieure par cadre et arbre coudé par un mode d'actionnement extérieur au moyen d'un moteur spécial.

Les deux corps de pompe sont juxtaposés et communiquent à l'avant avec une cloche à huile commune. Chacune des tiges des pistons, qui traverse un presse-étoupe, est clavetée sur une crosse dont la glissière est formée par un fourreau concentrique à la pompe et situé dans son prolongement. La bielle qui attaque le tourillon de crosse est reliée à un arbre à double vilebrequin, dont les tourillons sont à 180 degrés, de façon que les pompes travaillent alternativement.

Les presse-étoupes, aussi courts que possible, n'ont à s'opposer qu'aux fuites d'huile et ne supportent toujours que la pression d'aspiration. La course des pistons, plus longue que dans les compresseurs ordinaires, entraîne une diminution de leurs diamètres et par suite un poids plus réduit.

Enfin, dernière innovation, les corps de pompe dans les deux types de machines sont pourvus à l'extérieur d'ailettes qui leur donnent plus de solidité et permettent surtout de les refroidir suffisamment quoique en supprimant toute circulation d'eau.

Le condenseur présente également certaines dispositions absolument originales. Il est constitué par une caisse de faible largeur et de hauteur variable, suivant la puissance de l'appareil, en tôle et fonte dont les parois démontables facilitent, au moyen d'un robinet et de deux portes de lavage, la visite et le nettoyage intérieur. Les deux petites faces de la caisse forment plaques tubulaires pour une série de tuyaux placés par séries horizontales de deux ou de quatre sur toute la hauteur du récipient. A chacune des extrémités de ces tuyaux se trouve une collerette qui est boulonnée sur la plaque tubulaire correspondante en même temps que la bride de raccordement du coude de jonction qui relie dans les petits appareils, sur l'une des faces de la caisse, les deux tuyaux d'une même série horizontale, et sur l'autre face, les tuyaux superposés de deux séries consécutives. Ces joints étant extérieurs et non baignés, les fuites par les joints sont faciles à constater et on peut y remédier de suite. Entre deux étages de tuyaux se trouve une cloison horizontale en tôle de largeur plus faible que celle de la caisse et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

disposée de façon que l'ensemble de ces tôles formant chicanes oblige l'eau à circuler en zigzag sur toute la hauteur de l'appareil.

Du condenseur, le gaz ammoniac liquéfié passe dans un récipient en fer forgé d'une seule pièce, qui contient la charge complète de la machine et ensuite au congélateur.

Celui-ci est composé d'une cuve rectangulaire en tôle avec enveloppe isolante; le fond en est occupé par un faisceau de tuyaux formant des serpentins.

Ces tuyaux, comme ceux du condenseur, sont en fonte et pourvus d'hélices dextrorsum extérieures et intérieures qui procurent, sous un faible volume, une surface d'échange très considérable, la conductibilité de la fonte étant d'ailleurs plus grande que celle du fer.

Les tuyaux du congélateur renferment en outre, dans leurs hélices intérieures, des hélices à gauche, formées par des fers à section en croix tordus en spirales, qui obligent le gaz à circuler en couches minces, en léchant d'aussi près que possible et d'une façon continue les parois métalliques et assez lentement pour assurer un échange plus complet des températures. Cet échange est d'ailleurs favorisé par la rotation d'un agitateur à hélice qui force le liquide incongelable, dirigé par une cloison horizontale placée au-dessus des serpentins, à se mettre en contact intime avec les tuyaux à ailettes.

L'avantage que présentent les dispositions spéciales des principaux organes de la machine Lebrun, au point de vue de l'amélioration du rendement et de la diminution de la consommation d'eau, ne semble pas douteux. Aussi cette machine a-t-elle été, dès son apparition, l'objet de commandes relativement nombreuses et importantes. Elle est construite par MM. Locoge et Rochart, de Lille.

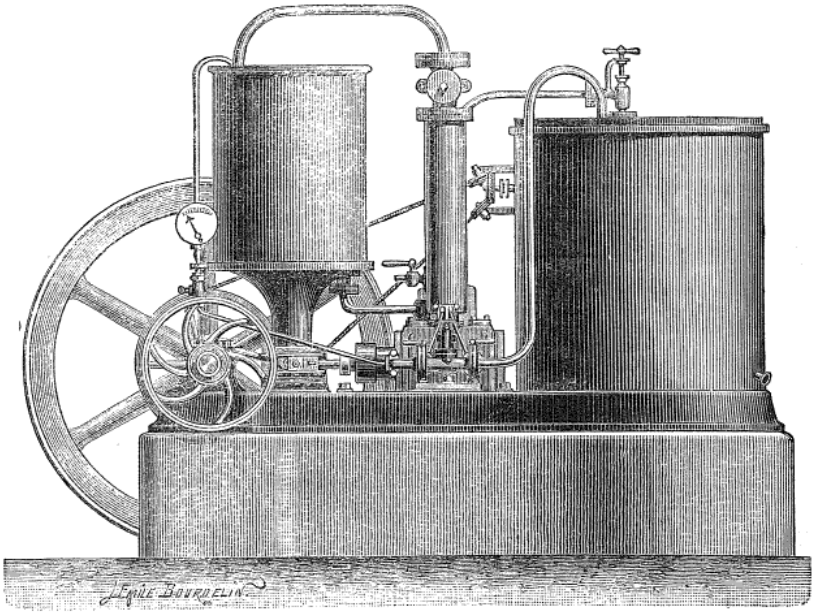
Machine Rouart. — La machine à compression de gaz ammoniac, dont la construction a été reprise par MM. Rouart frères en 1889, n'est qu'une modification de celle que ces constructeurs avaient établie en 1860 en collaboration avec M. Carré. Le gaz producteur du froid était en 1860 la vapeur d'éther; en 1863 on a substitué à celui-ci le gaz ammoniac liquéfié.

Cette première machine avait été abandonnée par MM. Rouart frères à la suite d'expériences comparatives exécutées par eux et qui leur avaient permis de conclure à la supériorité, comme rendement, des machines à affinité. Ces constructeurs font, en effet, remarquer que les machines à compression ont un rendement forcément limité, puisqu'il leur faut passer par l'intermédiaire d'une machine à vapeur (rendement maximum 0.14 de la chaleur du foyer) et d'une pompe de compression (rendement maximum 0.70). Le rendement final est donc d'environ 10 p. 100, tandis que dans les machines à affinité, l'énergie calorifique du foyer est directement utilisée. Néanmoins ils ont reconnu que dans certains cas, lorsque la force motrice est fournie gratuitement (par une chute d'eau, par exemple), ou lorsqu'elle est très économique, il peut y avoir intérêt à adopter l'emploi d'une machine à compression.

Nous signalerons seulement quelques particularités de la machine Rouart.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pompe est horizontale, à double effet, et disposée le plus souvent pour être actionnée par un moteur indépendant, au moyen d'un jeu de poulies fixe et folle. Elle ne comporte pas d'enveloppe d'eau. Le presse-étoupe est pourvu d'une garniture ordinaire en chanvre, rondelles de caoutchouc ou tresses métalliques. Pour combattre l'échauffement de la tige du piston, on a ménagé dans la boîte une chambre annulaire dans laquelle circule le gaz détendu pris à sa sortie du congélateur, c'est-à-dire ayant déjà servi à la production du froid. On obtient ainsi, en enlevant au gaz les dernières quantités de froid qu'il contient, une température suffisamment basse sans avoir besoin de recourir à des dispositifs plus compliqués ou moins économiques, tels que l'emploi d'une dérivation de gaz liquéfié où celui-ci n'accomplit d'autre travail que le refroidissement du presse-étoupe.



Le gaz comprimé passe dans un séparateur d'huile formé par une bâche cylindrique assez longue et étroite, munie intérieurement de chicanes convenablement disposées pour retenir les parcelles d'huile entraînées par le gaz. Le séparateur est logé au centre du liquéfacteur et prolongé à sa base par un réservoir collecteur d'huile à niveau indicateur et robinet de décharge.

Le liquéfacteur, semblable à celui des machines à affinité des mêmes constructeurs, est placé au-dessus du cylindre de compression et sur le même bâti. Le gaz comprimé, sortant du séparateur, entre par le haut du condenseur, dans un ou plusieurs serpentins d'où il sort pour venir se rassembler dans un récipient à liquide monté latérale-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment sur le pied du liquéfacteur. Ce groupement fournit une machine très ramassée et économique comme construction.

Le récipient du gaz liquéfié et le congélateur sont semblables à ceux des appareils à absorption.

Dans le cas où l'on ne dispose pas pour la commande de la machine frigorifique d'une transmission ou d'un moteur indépendant, le compresseur (au moins dans les machines à production faible ou moyenne) est actionné directement par un moteur à cylindre vertical placé sur le même bâti que la pompe et par suite à angle droit avec elle. Dans ces conditions, la combinaison des appareils forme un ensemble très abordable et l'emplacement occupé est réduit au minimum.

MACHINES À ACIDE CARBONIQUE.

La Société Émile et Jules Halot et Cie, de Bruxelles, exposait dans la section belge deux types très intéressants des machines à acide carbonique récemment imaginées et combinées par M. Windhausen et qui faisaient pour la première fois leur apparition en France.

L'acide carbonique est l'agent le plus énergique qui ait été employé jusqu'à ce jour dans les machines à froid. Si sa chaleur de vaporisation est assez faible, 51 calories, ses tensions de liquéfaction sont au contraire très élevées. De là, la nécessité de donner aux organes fermés de fortes épaisseurs.

A + 30°	la tension est de	75	atmosphères.
À 0°	—	38	
À — 15°	—	25	
A — 30°	—	10	

A 32 degrés il se rapproche du point critique (77 atmosphères) et se surchauffe pendant la compression. Il bout à 78°,2 au-dessous de zéro ; les températures obtenues sont comparables à celles des machines à air.

On peut l'obtenir très simplement et à peu de frais en faisant réagir l'acide sulfurique sur le carbonate de chaux et le fabriquer soi-même en ajoutant un générateur à la machine à glace.

Dans ce cas, l'on monte sur le tuyau qui relie le condenseur au réfrigérant le récipient qui doit contenir le liquide, et l'on interrompt par une manœuvre de robinets la communication avec le réfrigérant.

Dans le procédé industriel appliqué à Hanovre depuis vingt ans, on pompe le gaz, lavé et desséché, dans une série de récipients de plus en plus petits jusqu'au moment où, à une température d'environ 0° et sous une pression de 36 atmosphères, la liquéfaction se produit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le procédé Hasenörl, mis récemment en pratique à Vienne, consiste à faire réagir l'acide sulfurique étendu et exempt de traces d'arsenic sur le carbonate de magnésie; on peut obtenir de cette façon 450 kilogrammes de liquide par journée de douze heures.

L'acide se vend et s'expédie couramment dans des bouteilles en fer ou en acier, d'une contenance de 8 kilogrammes, ou dans des réservoirs en tôle à fonds soudés, éprouvés à 250 atmosphères et contenant chacun 20 kilogrammes.

L'acide carbonique, corps indifférent, n'attaque pas sensiblement les métaux qui entrent dans la construction des organes de la machine. Il ne peut, en cas de fuites, rendre d'un usage dangereux ni l'air, ni l'eau condensante avec lesquels il est en contact. Comme il ne dégage aucune odeur, on peut le faire circuler directement dans les tuyauteries de refroidissement des locaux, sans le faire passer préalablement dans un réfrigérant, et les appareils peuvent être sans inconvénient établis dans des locaux habités.

Dans les caves de brasserie, il ne peut nuire à la qualité de la bière, ni au développement de la fermentation.

En revanche, il paraît impossible de remédier aux fuites dès qu'elles se déclarent, et cependant elles sont d'autant plus désastreuses pour le rendement que les pressions sont élevées. Les pertes de liquide, quelquefois très dispendieuses, semblent ne devoir être décelées qu'à la longue, c'est-à-dire dès qu'une diminution notable se produit dans la production en glace ou en froid de l'appareil.

Ces préliminaires suffisent pour faire comprendre combien sont nombreuses et graves les difficultés à vaincre dans la construction d'une machine à acide carbonique avant d'arriver à en réaliser un type véritablement industriel.

L'examen des deux machines exposées par MM. Halot et C^ie^ démontre que ces difficultés ne sont point insurmontables. Elles doivent être considérées en effet comme l'une des solutions les plus ingénieuses du problème de la liquéfaction des gaz à hautes pressions.

La machine verticale, installée avec tous ses accessoires, fonctionnait principalement en vue de la démonstration et produisait 50 à 60 kilogrammes de glace à l'heure. La pompe était commandée par une machine horizontale, genre Cerliss, sans condensation et à détente variable par le régulateur, pouvant développer une force de 20 chevaux à la vitesse de 55 tours.

La quantité d'eau de condensation employée à l'heure était d'environ un mètre cube. La pression au compresseur oscillait entre 75 et 80 atmosphères. La vaporisation s'effectuait sous une pression d'environ 25 atmosphères en produisant un abaissement de température allant jusqu'à 15 degrés au-dessous de zéro et permettant de refroidir à — 10 degrés la solution de chlorure contenue dans le congélateur.

Les dispositions de ce type vertical sont les suivantes:

La pompe à simple effet comprimant la vapeur d'acide à une pression considérable, l'inventeur a dû constituer le cylindre d'un bloc d'acier coulé dans lequel a été aménagée une chambre à parois suffisamment résistantes. Le corps de pompe est logé dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une enveloppe extérieure également en acier, et dans l'espace annulaire qui sépare l'un de l'autre ces deux éléments est maintenue une circulation d'eau froide.

La compression s'opère non plus directement par le piston, mais par l'intermédiaire d'une masse liquide à volume constant qui contribue au refroidissement du compresseur et supprime totalement les espaces nuisibles dont l'influence sur le rendement serait désastreuse à ces hautes pressions.

Par suite, le corps de pompe est partagé en deux compartiments par une cloison refroidie par un courant d'eau et qui s'arrête à une certaine distance du fond inférieur de la chambre. Le piston d'acier se meut dans l'un des compartiments; le piston liquide occupe l'espace compris entre la face du premier piston et le fond du cylindre ainsi que le second compartiment appelé réservoir. C'est ce dernier qui porte sur son couvercle les soupapes d'aspiration et de refoulement.

Ces soupapes automatiques et parfaitement étanches sont constituées par des disques en acier ou en bronze spécial. Dans certaines machines de ce type, celle de l'aspiration est traversée par une tige qui lui sert de guide dans la chapelle et porte à sa partie supérieure une petite traverse réglable destinée à limiter la course de la soupape; un étrier empêche la chute de celle-ci dans le cylindre. La conduite d'aspiration est alors directement montée sur la chapelle et sur le même axe que la soupape. Dans les machines plus récentes, la soupape d'aspiration, comme celle du refoulement, est pourvue d'une tige avec ressort. Toutes deux sont accessibles, car elles sont enfermées dans des chapeaux extérieurs vissés dans le couvercle du cylindre. Ces chapeaux sont munis d'un écrou à leur sommet, et il suffit de tourner cet écrou, qui presse sur le ressort, pour régler la tension de celui-ci.

Les deux soupapes portent latéralement les conduites d'aspiration et de refoulement. Pendant la marche, le piston liquide qui refoule l'acide carbonique passe en petite quantité par la soupape de refoulement afin d'éviter tout espace nuisible; cet excédent de liquide est recueilli dans une petite chambre latérale où un robinet, dit de récupération, et un tuyau le prennent pour l'amener au-dessus de la soupape d'aspiration dont il facilite l'ouverture au moment de la montée du piston.

Le piston d'acier est formé de deux portions consécutives, dont l'une possède un diamètre un peu inférieur à celui de la seconde, de façon à former un espace annulaire entre elle et le corps de pompe. Cet espace annulaire est suivi d'une petite chambre au-dessus de laquelle se trouve un presse-étoupe à garniture liquide. Enfin, le piston proprement dit porte sur sa face inférieure une soupape qui communique avec l'espace annulaire et s'ouvre de haut en bas. Les fuites de liquide qui peuvent se produire autour du piston pendant sa descente s'accumulent dans la chambre intermédiaire.

Le liquide qui peut s'échapper pendant la montée du piston de la garniture du presse-étoupe passe également dans cette chambre, qui peut être, soit ouverte à l'atmosphère à l'aide d'un robinet, soit mise en communication avec l'espace annulaire par un conduit aboutissant à un petit robinet à pointeau suivi d'un clapet de retenue. Le piston peut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donc, à la montée, comprimer toutes ces fuites réunies dans l'espace annulaire d'où elles s'échappent pour regagner le réservoir en traversant la soupape logée dans le piston. Il est bien évident que la capacité de l'espace annulaire doit être telle qu'en aucun cas la pression qui s'y développe ne soit supérieure à celle de l'aspiration. Dans le cas contraire, l'on pourrait craindre que l'air, qui peut s'introduire par la chambre intermédiaire, ne rentre dans l'acide carbonique aspiré.

Le piston liquide est constitué de deux corps différents, non susceptibles de se mélanger entre eux : le premier, en contact avec l'acide, est de l'eau glycérinée; la glycérine ne jouissant d'aucune affinité pour l'acide carbonique, on évite ainsi toute absorption. Le liquide inférieur, qui doit baigner la cloison médiane du cylindre quand le piston est à fin de course et qui forme la garniture du presse-étoupe, n'est qu'un simple lubrifiant. Ce lubrifiant est le plus souvent de la glycérine. Les liquides usés peuvent être facilement remplacés par l'introduction de liquides neufs à l'aide de petits robinets montés sur le cylindre de compression.

Le condenseur est constitué par un ou plusieurs serpentins éprouvés à une pression de 300 atmosphères et plongés dans une bâche cylindrique. Il est refroidi par l'eau qui a déjà circulé autour du compresseur.

La cuve rectangulaire du congélateur est partagée en trois compartiments par deux cloisons verticales. Le premier, ou réfrigérant, renferme un serpentin semblable à celui du condenseur; le second, ou congélateur, est destiné aux mouleaux à congeler. Ces deux chambres sont séparées par une cloison échancrée au sommet et à la base pour donner passage au courant de saumure. Le courant est descendant dans le réfrigérant et ascendant dans le congélateur; il est déterminé par une hélice placée au fond du premier compartiment. La troisième chambre, séparée de la seconde par une cloison parfaitement isolée et étanche, renferme l'eau tiède qui sert au démoulage des blocs de glace.

Sur la tuyauterie qui relie le condenseur au réfrigérant et le plus près possible de ce dernier appareil, est placée une soupape différentielle réglable, qui sert de détendeur pour l'acide liquéfié. Un collecteur monté sur cette soupape recueille les gouttelettes d'eau glycérinée qui ont pu pénétrer dans les serpentins du condenseur et les renvoie, pendant la montée du piston, à un clapet placé sur le réservoir de la pompe dans le voisinage de la soupape d'aspiration. Pour permettre de recueillir l'acide carbonique fabriqué, dont les débouchés sont si considérables, il suffit d'interposer sur la conduite qui va du condenseur au réfrigérant un robinet à trois voies au moyen duquel le condenseur peut être mis en communication avec une ou plusieurs bonbonnes d'acier.

L'ensemble de cette machine verticale est très compact.

La seconde machine exposée par la Société Halot appartenait au type horizontal dit Compound, qui est d'invention toute récente. Faute de place, l'installation ne comprenait que la pompe de compression avec une simple configuration du circuit fermé, parcouru par l'acide carbonique pendant ses divers changements d'état.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Toutefois, dans le circuit réduit, on avait introduit les robinets de distribution dans les serpentins ainsi que le robinet régulateur. D'autre part, les dispositions prises pour la rentrée dans le compresseur des liquides entraînés et pour le renouvellement de la glycérine usée étaient aussi clairement indiquées que le permettait cette installation incomplète.

Cette deuxième pompe de compression correspondait à une production de 250 kilogrammes de glace à l'heure. Les dispositions en sont très étudiées.

Le corps de pompe se compose de deux cylindres placés à angle droit, dont les couvercles portent chacun une soupape d'aspiration et une de refoulement. Toutes ces soupapes sont pourvues d'un chapeau extérieur facilement démontable et d'un ressort à tension réglable par un écrou; celles d'aspiration sont retenues par un étrier. La soupape de refoulement du cylindre horizontal est reliée par un tuyau à celle d'aspiration du cylindre vertical; la soupape d'aspiration du même cylindre aspire le gaz du réfrigérant. La soupape de refoulement du cylindre vertical est reliée au serpentin du condenseur. Une enveloppe dans laquelle circule un courant d'eau ascendant entoure les deux cylindres. Dans le cylindre horizontal s'emboîte un long fourreau placé sur le même axe et qui sert de guide à un second piston placé sur la tige du piston principal. L'espace annulaire compris entre le fourreau et la tige est destiné à recueillir, comme dans la machine verticale, les fuites de liquide et de gaz qui proviennent du cylindre et du presse-étoupe.

Le piston liquide est renfermé dans la capacité limitée par les faces opposées des deux pistons solides et s'élève à une hauteur variable dans le cylindre vertical. Une partie de ce liquide forme la garniture hydraulique du presse-étoupe.

La compression du gaz se fait en deux temps, d'abord par la face sèche du gros piston qui, à l'aller, refoule les vapeurs comprimées dans le haut du cylindre vertical. Au retour du piston, la compression est achevée par la masse de glycérine, qui, refoulée elle-même par le piston, remplit complètement la capacité de ce cylindre en supprimant tout espace nuisible et expulse vers le condenseur l'acide comprimé. Pendant ce temps, le petit piston comprime dans l'espace annulaire du fourreau les fuites qui s'y sont accumulées et les refoule au travers d'un clapet de retenue dans le cylindre vertical.

M. Windhausen a combiné aussi deux types de compresseurs verticaux qui n'étaient pas représentés à l'Exposition, l'un à cylindres concentriques, l'autre à cylindres juxtaposés. Dans ce dernier, particulièrement remarquable, le robinet régulateur est remplacé par un cylindre détendeur vertical dont le piston est conjugué par un balancier à celui du compresseur. Le travail de détente vient donc s'ajouter, comme dans les machines à air, au travail moteur sur le piston du compresseur.

Un détendeur analogue est adapté à la machine Compound horizontale dans le prolongement du cylindre inférieur. Les pistons du compresseur et celui du détendeur sont calés sur la même tige. Le fond du cylindre de détente est occupé par une soupape

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'admission qui communique avec le liquéfacteur. Cette soupape chargée d'un ressort est traversée par une tige qui fait saillie à l'intérieur du cylindre. Dans sa course arrière, c'est-à-dire pendant la période de refoulement au condenseur, le piston du détendeur vient buter contre la tige et comprime le ressort jusqu'à ce que la pression exercée sur lui soit supérieure à celle qu'exerce de l'autre côté de la soupape l'acide carbonique venant du condenseur. La soupape se lève et laisse pénétrer l'acide dans le cylindre tant que le piston appuie sur sa tige. Au retour du piston, la soupape se ferme et l'acide se détend en effectuant un certain travail sur le piston du détendeur et, par suite, sur le gros piston du compresseur. Dans la course arrière suivante du piston, l'acide détendu s'échappe au réfrigérant à travers un robinet.

Le cylindre détendeur comporte comme le compresseur un presse-étoupe et un piston à soupape intérieure. Les fuites recueillies dans l'espace annulaire de la tige de ce piston sont reprises par l'appareil récupérateur qui les ramène à l'aspiration du cylindre vertical de la pompe de compression.

L'on voit que dans ces types les fuites d'acide par les bourrages ou les joints sont rendues impossibles grâce aux ingénieuses dispositions employées. Aussi, les pertes pendant le travail paraissent devoir être minimes, même dans les appareils les plus puissants.

Comparée aux machines à gaz ammoniac et à acide sulfureux, la machine à acide carbonique présente, pour un même poids de gaz en circulation et un même effet frigorifique à obtenir, des dimensions beaucoup plus restreintes en raison des pressions considérables mises en jeu, qui ramènent au minimum le volume du gaz liquéfiable utilisé et par suite le volume de la pompe de compression. M. Windhausen annonce que ce volume est 25 fois plus petit que pour l'acide sulfureux et 15 fois plus petit que pour le gaz ammoniac.

Ces faibles dimensions de la machine, jointes aux remarquables dispositifs adoptés, lui permettent de vaincre, avec une dépense de force relativement réduite, les résistances dues aux pressions élevées de marche et d'obtenir facilement pour tous les organes l'étanchéité désirable.

Ces organes très simples sont construits très solidement, en matériaux de première qualité, ce qui leur permet de résister à des pressions doubles ou triples de la pression normale de marche.

Il y a lieu d'ajouter, cependant, que la plupart des machines à acide carbonique employées dans l'industrie n'ont point encore fourni une carrière assez longue pour que l'on soit en droit d'affirmer, en se basant sur leur construction extrêmement soignée et les précautions prises, que ce type est absolument à l'abri de toute explosion.

MM. Halot et Cie construisent ces machines pour les productions de 25 à 2,000 kilogrammes à l'heure.

Les ateliers Escher Wyss et Cie, de Zurich, construisent particulièrement les types de 10 à 50 kilogrammes de glace. Le cylindre moteur et le cylindre compresseur sont montés

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur le corps même des condenseurs auquel l'évaporateur est relié directement. La machine ne forme qu'une seule masse de poids et de dimensions très faibles qui peut être transportée ou déplacée suivant les besoins.

De nombreux essais exécutés pendant plusieurs mois semblent avoir démontré que le système Windhausen permet de produire le froid d'une façon économique avec une eau de condensation marquant 35 degrés et peut, par suite, être employé à bord des navires naviguant sur les mers chaudes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RÉSUMÉ.

Après cette étude détaillée des machines à compression, il nous a semblé intéressant de dresser une sorte de bilan sommaire des dispositions variées qui caractérisent chacun des organes principaux de ces appareils.

DISPOSITIONS DU LIQUÉFACTEUR ET DU RÉFRIGÉRANT.

Pour le liquéfacteur et le réfrigérant, les différences de construction sont en général peu notables. Ils sont toujours à grande surface, composés d'une série de serpentins ou d'un faisceau de tubes traversés par le gaz, refroidis par l'eau de condensation ou baignés par le liquide à refroidir. La circulation du gaz et celle du liquide se font toujours en sens inverse de façon à réaliser un échange méthodique des températures activé en général par le jeu d'une hélice. Les serpentins sont généralement d'une seule pièce et indépendants, de sorte que les joints, en nombre restreint, sont tous extérieurs et faciles à visiter et qu'un accident à l'un d'eux n'empêche pas les autres de fonctionner. L'emploi de l'acide sulfureux et du chlorure de méthyle permet d'employer des serpentins en cuivre, métal plus conducteur que le fer ou l'acier. L'ammoniaque et l'acide carbonique demandent des serpentins en fer ou en acier, de qualité et de résistance parfaites.

Le nouveau réfrigérant de la machine Pictet, avec ses tubes en U verticaux, présente une surface d'émission considérable pour une quantité relativement faible de liquide volatil.

Le réfrigérant et le condenseur verticaux du type de la Compagnie de Fives-Lille, comprennent un faisceau de tubes en cuivre, dans lequel circule l'eau condensante ou le liquide incongelable et qui est baigné par l'acide gazeux ou liquéfié. Les dispositifs adoptés ont pour but de réduire la force motrice et la quantité d'eau consommée et aussi de faciliter le démontage et le nettoyage de ces appareils.

Dans la machine Lebrun, les deux appareils sont composés de tuyaux de fonte avec ailettes et hélices extérieures et intérieures réalisant une surface d'échange très développée et très active sous un petit volume. Ce dispositif, quoique un peu compliqué, semble particulièrement recommandable. Le liquéfacteur de la nouvelle machine Rouart est monté sur le même bâti que le compresseur et au-dessus du cylindre. L'encombrement est dans ce cas très réduit.

DISPOSITIONS DU ROBINET-DÉTENDEUR.

Le détendeur n'est le plus souvent qu'un robinet à pointe graduée ou à cône obturateur. Ceux de MM. Douane et Jobin (chlorure de méthyle) sont pourvus d'un presse-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étoupe étanche à garniture de glycérine. M. Windhausen emploie soit une soupape régulatrice différentielle, soit un petit cylindre détendeur dont le travail est restitué au compresseur. C'est la première fois qu'une tentative de ce genre, très intéressante d'ailleurs, est réalisée; elle peut fournir des résultats avantageux avec l'acide carbonique pour lequel l'écart des pressions de liquéfaction et de vaporisation est considérable.

DISPOSITIONS DU COMPRESSEUR.

Le compresseur, organe principal de toute machine à vapeur liquéfiable, a donné lieu aux progrès les plus intéressants.

Les compresseurs horizontaux sont le plus souvent à double effet, à moteur conjugué (Pictet, Fixary) ou à moteur indépendant (Linde, Rouart, Windhausen) et quelquefois à simple effet et à moteur séparé (Lebrun). Ils sont actionnés directement par le moteur (Linde) ou commandés par courroie (Fixary).

Les compresseurs verticaux sont généralement à simple effet et à cylindre unique, (Vincent 50^{k}), ou à deux cylindres (Fixary, Vincent 100^{k} et plus) et disposés pour pouvoir, en cas d'accident, fonctionner isolément. Ils sont, en général, à moteur indépendant.

Réduction des espaces nuisibles. — Les soupapes généralement employées sont de simples disques en fer ou en acier maintenus par des ressorts réglables; celles d'aspiration sont munies d'un étrier ou d'un écrou de sûreté qui peut en empêcher la chute dans le cylindre; celles du refoulement, qui doivent fonctionner sans chocs, sont pourvues d'un amortisseur gazeux. Placées sur les fonds des cylindres, elles sont parfaitement accessibles.

Pour réduire au minimum les espaces nuisibles, plusieurs moyens sont employés. Dans certaines machines à simple effet (Fixary, Windhausen), on interpose entre le piston et le gaz une sorte de piston liquide constitué par une couche d'huile minérale ou de glycérine qui remplit, à fin de course, l'espace compris entre la face du piston métallique et le fond du cylindre qui porte les soupapes et donne ainsi un effet utile presque théorique. On arrive au même résultat en donnant aux soupapes et aux pistons des formes qui épousent exactement celles du fond des cylindres. C'est le cas pour les machines Lebrun et Vincent, et pour celles à double effet, notamment celles de Linde et de Pictet. Cette solution entièrement mécanique semble beaucoup plus simple et préférable.

HERMÉTICITÉ DU COMPRESSEUR. — GRAISSAGE DES ORGANES. — RÉCUPÉRATION DES FUITES.

Les dispositions adoptées pour rendre les pistons aussi étanches que possible et opérer le graissage du cylindre sont assez variées. Dans les compresseurs à double

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

effet, on emploie des pistons analogues à ceux des machines à vapeur et pourvus de segments métalliques à large surface, mais sans garniture liquide. Dans le compresseur de M. Windhausen, composé de deux cylindres à angle droit, la compression se fait en deux fois au moyen d'un piston solide et d'une masse d'eau glycérinée.

Avec les compresseurs à simple effet, on peut employer le piston avec couche d'huile superposée (Fixary) dont la face inférieure porte des cannelures (Fixary, Vincent) qui, au retour du piston, se chargent d'huile ou de glycérine dans une chambre ménagée dans le bas des cylindres et viennent à la course suivante graisser les parois de ces derniers. Le frottement du piston est très réduit. Les fuites de gaz autour du piston sont recueillies dans une chambre d'équilibre placée entre les deux cylindres conjugués; elles retournent aux soupapes d'aspiration dès que leur pression dans cette chambre dépasse la charge de ces dernières.

Dans les machines Lebrun et Vincent (50^{k}), les pistons et le mécanisme de commande sont entièrement renfermés dans une cloche à bain d'huile ou de glycérine : le bain est en contact avec les pistons dans la première machine et opère le graissage des cylindres; dans la seconde c'est le chlorure de méthyle qui joue le rôle de lubrifiant. Comme la cloche communique avec l'aspiration, les fuites de gaz par les pistons sont ramenées automatiquement au compresseur. Cette disposition a seulement l'inconvénient de rendre le mécanisme inaccessible.

Dans toutes les machines à vapeurs liquéfiables et notamment dans celles à double effet, le presse-étoupe de la pompe doit s'opposer aux fuites vers l'extérieur et assurer en partie le graissage du cylindre; sa construction est donc assez délicate et d'une importance considérable au point de vue du fonctionnement économique de la machine.

Dans les compresseurs à bain d'huile ou de glycérine (Lebrun, Vincent), le presse-étoupe est placé à l'une des extrémités de l'arbre de commande et n'a plus qu'à s'opposer à l'échappement du bain dans lequel il tourne et qui est soumis simplement à la pression d'aspiration. Dans toutes les dispositions à chambre d'huile (Fixary, Vincent) la couche de lubrifiant s'oppose à toute fuite de gaz extérieure. Le presse-étoupe des machines Vincent ne comporte que des garnitures textiles ordinaires. M. Fixary forme, en outre, autour de la tige du piston, au moyen d'huile congelable à — 20 degrés et d'une dérivation de gaz ammoniac détendu, un point dit pâteux, imperméable et sans frottement qui permettrait de réduire le serrage des garnitures.

M. Linde emploie de préférence le joint liquide formé par une huile minérale incongelable de première qualité (oléonaphte). Son presse-étoupe comprend deux garnitures de coton entre lesquelles est ménagée une chambre dite d'arrêt. Une pompe puisant dans ce collecteur d'huile maintient une circulation continue autour de la tige. Les particules d'huile qui ont pu arriver jusque dans le compresseur sont recueillies dans un séparateur; un robinet rotatif les ramène automatiquement à un collecteur, dans lequel puise une pompe. En réglant convenablement le jeu de cette pompe et le mouvement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du robinet, on peut réaliser un circulus complet et continu de l'huile à travers le compresseur et le presse-étoupe.

Cette disposition enlève toute raison d'être aux compresseurs à simple effet sous le prétexte de réduire les pressions supportées par les presse-étoupes. Dans ce cas, en effet, le presse-étoupe n'est soumis qu'à la pression de l'aspiration et ne donne lieu à aucune fuite de gaz.

Le compresseur Compound de M. Linde possède les mêmes avantages et peut fonctionner avec des eaux très chaudes.

Dans les machines Rouart, l'échauffement de la tige est évité par un bain d'huile et par la circulation dans un espace annulaire du gaz détendu pris à la sortie du congélateur; ce procédé est simple et économique.

Refroidissement du compresseur. — La surchauffe pendant la compression est combattue dans toutes les machines, sauf dans celles de MM. Linde, Lebrun et Rouart, par une enveloppe à circulation d'eau. Les couches ou bains d'huile, les pistons liquides, les joints pâteux ou liquides contribuent aussi au refroidissement.

Dans les machines Lebrun, les corps de pompe portent extérieurement des ailettes à grandes surfaces en contact avec l'air.

M. Linde arrive à supprimer la surchauffe en maintenant les vapeurs constamment saturées par le simple réglage de la soupape régulatrice, réglage qui permet de laisser circuler dans les appareils, outre les vapeurs, quelques gouttelettes de liquide entraînées mécaniquement.

Dans les machines Pictet où le graissage n'est opéré que par l'acide sulfureux lui-même, on est obligé, pour détruire en partie seulement l'élévation de température du compresseur et de ses organes, d'établir une circulation d'eau, non seulement autour du cylindre, mais encore dans la tige et le piston. Aussi la dépense d'eau y est-elle relativement considérable.

Il résulte des observations pratiques formulées au cours de cette étude des machines à compression de vapeurs liquéfiables qu'au point de vue des soins apportés à leur construction ces types semblent à peu près équivalents et que les efforts des constructeurs se sont appliqués principalement au perfectionnement des organes qui peuvent exercer une influence bien déterminée sur le rendement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINES À AFFINITÉ OU À GAZ SOLUBLES.

Les machines à affinité reposent toutes sur l'expérience bien connue de Faraday (liquéfaction du gaz ammoniac dissous dans le chlorure d'argent).

Elles sont ainsi dénommées parce que la production du vide et la volatilisation y résultent de l'action de l'affinité seule.

L'aspiration des vapeurs au compresseur est remplacée par l'affinité du dissolvant froid pour le gaz qui détermine l'absorption, la compression par la tension que prend le gaz sous l'action d'un chauffage énergique. L'énergie calorifique du charbon est donc directement utilisée.

Généralement le froid est obtenu dans les appareils industriels par l'évaporation du gaz ammoniac liquéfié. Mais le principe de Faraday est général et permet de construire tous les appareils similaires, basés sur l'emploi de corps susceptibles d'affinité aux basses températures et de dissociation aux températures élevées[1].

Le gaz ammoniac a la propriété de se dissoudre dans l'eau en proportion considérable et avec une très grande rapidité. Le coefficient d'absorption décroît quand la température de l'eau augmente : à 0 degré il est de 1.049, à 15 degrés de 727 et à 20 degrés de 654. Il en est de même par suite du rendement théorique.

Une solution ammoniacale (alcali blanc du commerce) marquant 28 et 29 degrés à l'aréomètre Cartier est contenue dans une chaudière ou vaporisateur chauffé, soit à feu nu, soit par un serpentin de vapeur. Sous l'influence de la chaleur, 130, 140 et 150 degrés, le gaz ammoniac se dégage de la dissolution, sort de la chaudière et passe dans une série de serpentins baignés d'eau froide qui constitue le liquéfacteur ou condenseur. Le gaz se liquéfie sous la double action de sa propre pression (8, 10, 12 atmosphères) et d'un refroidissement énergique; il est amené par l'intermédiaire d'un robinet régulateur et détendeur aux serpentins d'un congélateur ou réfrigérant, dans lequel il se détend en produisant une température d'environ — 35 degrés sous une pression d'environ 1 atmosphère et demie. Cette température se transmet au liquide incongelable contenu dans la cuve du congélateur et qui sert de véhicule au froid produit.

En sortant du congélateur les vapeurs passent en vertu de la différence des pressions dans un récipient spécial dit vase à absorption, où elles rencontrent une solution d'ammoniaque pauvre, c'est-à-dire ne marquant que 20 à 21 degrés, dont le débit est réglé par un robinet et dans laquelle elles se dissolvent en l'enrichissant, de manière à lui faire marquer 27 à 28 degrés à l'aréomètre. Cette absorption, qui permet la détente rapide du gaz dans le congélateur, produit une élévation de température que l'on combat par une circulation très vive d'eau froide. La solution enrichie est alors reprise par une pompe

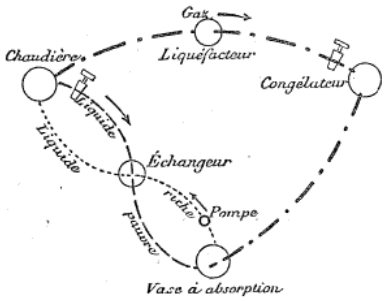
[1] M. Tellier a proposé de remplacer l'ammoniaque par la méthylamine avec absorpteur rafraîchi par un courant d'air (1877).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui l'amène au sommet de la chaudière malgré la pression intérieure de cette dernière.

Le cycle de l'appareil est donc bien complet, analogue à celui d'une machine à vapeur liquéfiable; seulement le compresseur est remplacé par deux appareils, une chaudière et un vase d'absorption.

L'appareil fonctionnant dans ces conditions serait peu économique et irrégulier. En effet, sous l'influence du chauffage en vase clos, il se produit dans la chaudière une décantation telle que les vapeurs ammoniacales sont chassées au sommet du générateur, tandis que le liquide qui reste au fond de la chaudière est appauvri. Celui-ci, sorti de la chaudière à température élevée, doit arriver froid dans le vase à absorption pour être susceptible d'absorber les vapeurs du congélateur. Le liquide enrichi dans le même vase et qui est refoulé par la pompe dans la chaudière doit, au contraire, y rentrer chaud pour économiser le combustible ou la vapeur. On fait alors circuler les deux liquides en sens inverse dans un vase clos, particulier à ce genre de machines, qui constitue l'échangeur ou réchauffeur; le liquide riche circule autour d'un faisceau tubulaire à grande surface dans lequel passe le liquide pauvre et retourne à la chaudière.



Cette description sommaire suffit pour faire comprendre que la marche régulière et le fonctionnement économique de l'appareil dépendent exclusivement: 1° du réglage respectif des deux robinets d'écoulement du gaz liquéfié et du liquide pauvre qui détermine la pression dans le vase à absorption et dans le congélateur, et par suite le degré de détente et la température d'ébullition du gaz ammoniac; et 2° du débit de la pompe qui doit être réglé de façon à maintenir en parfait équilibre la quantité de solution ammoniacale reconstituée dans le vase à absorption et la quantité de solution décomposée dans la chaudière. Enfin un récipient à gaz liquéfié doit faire suite au liquéfacteur pour permettre d'estimer à tout moment la quantité de liquide disponible. Dans ces conditions, le nombre des appareils nécessaires étant plus élevé, l'on voit que les machines à gaz solubles présentent forcément une complication plus grande que les autres systèmes. Les tuyauteries seront plus longues, les pertes par rayonnement plus grandes, les joints plus nombreux, les risques de fuite augmentés d'autant; le réglage, la conduite et l'entretien des appareils demanderont des soins particuliers et un apprentissage assez long.

La production de la machine dépend aussi du degré de richesse de la solution ammoniacale et de la température de l'eau de condensation. Nous donnerons plus loin quelques détails à ce sujet.

Les machines à affinité sont d'invention française. M. Ferdinand Carré est le premier qui ait songé, dès l'année 1857, à rendre pratique sous forme d'une machine in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dustrielle le principe imaginé par Faraday. A ce titre, cet inventeur doit être considéré comme l'un des créateurs, dans notre pays jusque-là tributaire des Anglais, de l'industrie du froid.

Les premiers appareils combinés par M. Carré, développés en 1859 et 1860, ont été le point de départ de toutes les machines de même catégorie construites en France et à l'étranger. Modifiés par lui en 1872 et 1876, notamment dans certaines de leurs dispositions d'ensemble, ils n'ont subi aucune modification véritablement importante depuis cette époque.

Ils sont construits également aujourd'hui par son frère, M. Edmond Carré, qui les a quelque peu modifiés de façon à les rendre plus économiques.

Ces modifications ont porté principalement :

1° Sur la chaudière qui a été disposée horizontalement, chauffée à la vapeur de façon à n'évacuer au dehors que de l'eau condensée et pourvue d'un rectificateur dont nous parlerons plus loin;

2° Sur le liquéfacteur dont la hauteur a été augmentée de façon à ne laisser sortir l'eau de condensation qu'à une température de 40 à 45 degrés tout en entretenant celle du gaz liquéfié à un degré égal à celui de l'eau à son entrée dans l'appareil;

3° Sur le congélateur où la circulation du liquide qui se détend et celle de l'eau qui se congèle ont été rendues méthodiques;

4° Sur le vase à absorption disposé pour ne laisser échapper l'eau de condensation qu'à 40 degrés, ne renvoyer à la chaudière que du liquide saturé et froid, et obtenir le maximum de saturation sous une faible pression;

5° Sur les robinets et les joints qui ont été rendus aussi étanches que possible;

6° Enfin sur les dimensions de chacun de ces organes qui ont été suffisamment augmentées pour qu'un appareil vendu en France pour une production de 30 kilogrammes de glace à l'heure, par exemple, puisse fournir le même résultat dans les pays très chauds où l'eau de condensation atteint une température de 30 degrés.

MM. Mignon et Rouart ont été les collaborateurs distingués de M. Carré dès le début de son invention dans la construction des machines à affinité qu'ils ont constamment cherché à perfectionner. C'est principalement à ces constructeurs et à leurs successeurs, MM. Rouart frères, que l'on doit depuis plus de trente ans les applications les plus importantes de ce procédé et les études les plus suivies et les plus intéressantes sur la meilleure utilisation industrielle du froid artificiel.

Ces constructeurs ont apporté depuis 1878 quelques perfectionnements à la construction de leurs machines à froid.

La chaudière, qui peut être horizontale ou verticale, est en tôle soudée; la collerette qui la rattache au couvercle supérieur est en tôle d'acier. Quand le chauffage doit se faire à la vapeur, les constructeurs emploient un serpentin de vapeur fixé sur le fond qui dans ce cas est amovible. La chaudière est très facile à nettoyer.

Le liquéfacteur, qui était composé de serpentins plats, est actuellement pourvu de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

serpentins cylindriques logés dans une bâche également cylindrique supportée par l'échangeur et non plus dans une bâche rectangulaire portée par un bâti spécial. L'ensemble est de cette façon beaucoup plus compact.

L'échangeur est composé de plusieurs serpentins concentriques logés dans une bâche cylindrique. Toutes les communications avec la tuyauterie : entrée et sortie du liquide pauvre, entrée et sortie du liquide riche, sont placées sur le couvercle supérieur et par suite faciles à visiter.

Le liquide pauvre circule de haut en bas dans les serpentins, tandis que le liquide riche, amené au fond de la bâche, remonte vers le couvercle pour s'échapper. L'entrée du liquide riche et la sortie du liquide pauvre se font par deux tuyaux concentriques, passant au centre du couvercle. Tout a donc été prévu dans cet appareil pour que l'échange des températures soit absolument méthodique. Afin d'utiliser aussi complètement que possible le froid produit par l'évaporation de l'ammoniac, les constructeurs ont disposé à la sortie du congélateur une seconde bâche à serpentins plats; dans cette bâche l'on fait refroidir au voisinage de 0 degré l'eau qui servira plus tard à remplir les mouleaux du congélateur. On réalise de ce chef une économie de froid et de temps qui peut atteindre 10 p. 100.

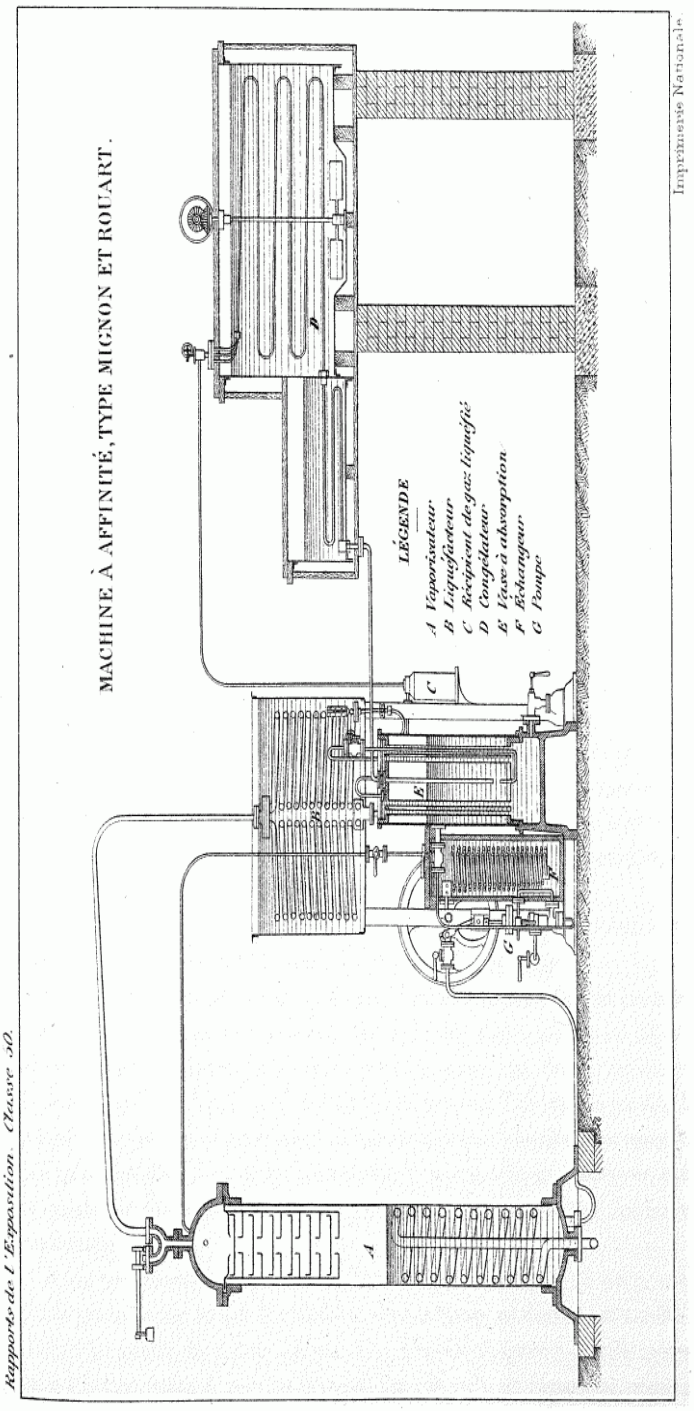
MM. Imbert frères de Saint-Chamond ne s'étaient occupés, avant 1875, des machines à froid à affinité que comme praticiens habiles dans la fabrication de certaines pièces détachées en tôles soudées, qui entrent dans la construction de ces appareils et qu'ils livraient aux maisons privilégiées par l'inventeur. Ce n'est qu'en cette année 1875 qu'ils ont entrepris la fabrication complète des machines, après avoir pris un brevet de perfectionnement de la machine Carré tombée dans le domaine public.

Les améliorations apportées par eux à ce type primitif étaient surtout d'ordre pratique et avaient simplement pour but d'assurer la simplification des organes, le maniement et l'accès faciles de toutes les pièces délicates de l'appareil, la solidité parfaite de la construction. De plus ces constructeurs ont cherché à réaliser un ensemble d'organes parfaitement groupés et possédant un certain caractère d'originalité le différenciant totalement, comme aspect extérieur, des machines en construction à cette époque.

Le liquéfacteur, le récipient du gaz liquéfié, le vase d'absorption et la pompe de refoulement sont montés sur le même bâti : le liquéfacteur placé au centre et dominant les autres appareils, le vase d'absorption et le récipient de liquide symétriquement placés par rapport à la pompe qui occupe la partie inférieure du bâti. Les constructeurs prétendent que cette symétrie, en même temps qu'elle est agréable à l'œil, aide à dresser très rapidement les conducteurs mécaniciens en évitant toute confusion de leur part.

Malgré les tendances en cours, MM. Imbert frères ont maintenu à leurs chaudières des capacités relativement grandes par rapport à la production en frigories de la machine, et cela pour faciliter l'emploi éventuel de solutions faiblement titrées. Ainsi une solution marquant 23° Cartier peut encore, avec des eaux de condensation à 14 degrés,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fournir avec la machine qui était exposée plus de 100 kilogrammes de glace, sa puissance maximum étant de 130 kilogrammes.

La chaudière ayant son fond soudé, il ne reste plus qu'un joint à la partie supérieure de la calandre; l'entretien est plus facile et les causes de fuites sont diminuées.

De même pour le liquéfacteur, le joint du collecteur de sortie de l'ammoniac anhydre a été rendu indépendant du joint du même collecteur avec le tuyau de départ du gaz liquéfié; on a supprimé ainsi la plus grande chance de fuite qui puisse exister dans cet appareil.

Le récipient de liquide anhydre est formé d'une seule pièce de fer forgé, sans autre joint que les joints secondaires du niveau et des deux tubes d'entrée et de sortie du gaz.

La difficulté d'avoir de bons robinets, résistant bien aux pressions assez considérables de ce genre de machine, est une des plus sérieuses qu'aient rencontrées les constructeurs. MM. Rouart et Imbert, après de nombreux essais, obtiennent l'étanchéité et la résistance voulues au moyen de leurs robinets à cônes renversés en acier et fonte avec joint métallique.

Depuis 1875, les perfectionnements de détail les plus importants qu'ont reçus les machines à absorption ont tous eu pour but la déshydratation aussi complète que possible du gaz ammoniac sortant de la chaudière à distiller, ainsi que la réduction au minimum de la consommation d'eau de refroidissement.

L'on sait en effet que, dans ces machines, le seul organe mécanique est la pompe de circulation du liquide riche et que le travail qu'elle a à produire est très faible. Par suite, le rendement de la machine à affinité doit être théoriquement beaucoup plus considérable que celui des autres machines des autres systèmes à force motrice, la chaleur fournie par le foyer y étant presque tout entière employée directement et non par l'intermédiaire d'une machine à vapeur et d'une pompe.

Mais deux causes principales, outre le refroidissement extérieur, l'imperfection des échangeurs, etc., s'opposent à l'obtention de ce rendement théorique.

D'une part, la perte de chaleur causée par le refroidissement obligé du vase d'absorption. La dissolution de l'ammoniac dans le liquide pauvre produit un dégagement de chaleur important (513 calories par kilogramme), qui élèverait rapidement la température de ce liquide et le rendrait bientôt impropre à absorber le gaz dont la solubilité diminue avec la température. Il importe donc que l'absorpteur soit maintenu par un courant d'eau à une température constante qui est celle du condenseur, mais la quantité de chaleur enlevée doit être plus tard récupérée et par suite fournie au vaporisateur.

Il faut tenir compte en second lieu de l'influence de l'eau entraînée (3 à 6 p. 100) par le gaz ammoniac hors de la chaudière. Cette influence est doublement nuisible : d'abord la quantité de chaleur à fournir à la chaudière s'augmente de celle nécessaire à la vaporisation de l'eau, et en second lieu une partie de l'ammoniac amené au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

congélateur est retenue par les gouttelettes d'eau qui ne s'évaporent point, d'où une diminution de la puissance frigorifique du gaz.

Il résulte de toutes ces causes que, pratiquement, on ne saurait atteindre plus de 80 p. 100 du rendement théorique.

La consommation d'eau de refroidissement est en outre augmentée, la circulation devant, outre la chaleur de liquéfaction du gaz au refroidisseur, enlever la chaleur de la vapeur d'eau entraînée par l'ammoniac et la chaleur de dissolution du gaz à l'absorpteur. Il en est de même par suite de la capacité de la cuve du condenseur.

L'on conçoit qu'en présence d'un tel état de choses, les divers constructeurs se soient efforcés, surtout dans les machines dont la production atteint à l'heure 100 kilogrammes et plus, de réduire au minimum les entraînements d'eau et d'assurer la parfaite distillation des solutions même faiblement titrées.

Dans le but d'éviter les entraînements d'eau, MM. Rouart frères ont breveté plusieurs dispositifs, entre autres l'emploi de dissolvants solides, tels que le chlorure de calcium en morceaux, destinés à remplacer complètement l'eau employée dans la distillation de l'ammoniaque.

Dans ce but, pour réaliser un appareil continu, il fallait disposer de deux chaudières fonctionnant alternativement, l'une comme distillateur, l'autre comme absorpteur, et construites de façon que leur enveloppe extérieure pût être chauffée par un courant de vapeur ou refroidie par un courant d'eau.

Plus tard, les constructeurs ont reconnu la nécessité d'ajouter un peu de liquide au dissolvant afin d'empêcher les entraînements de particules impalpables de ce corps solide, puis ils ont repris la solution aqueuse d'ammoniac à laquelle ils ajoutaient cependant une certaine quantité de chlorure de calcium.

Depuis, ces divers procédés ont été abandonnés par MM. Rouart frères et remplacés avantageusement par l'emploi d'un rectificateur analogue à celui des appareils à distiller. MM. Carré et Imbert frères ont aussi adopté cette dernière solution qui donne des résultats très satisfaisants.

La colonne de rectification est aussi élevée que possible. Elle est composée d'une série de plateaux superposés en forme de cuvette, portant alternativement des ouvertures circulaires et annulaires. Sur ces plateaux le liquide régénéré venant du vase à absorption tombe en cascade, en s'écoulant alternativement par le centre des uns et la circonférence des autres et en sens inverse du courant ascendant des vapeurs qui s'élèvent de la chaudière. En même temps que le liquide à température relativement basse va constamment en s'échauffant au contact de ces vapeurs, il les enrichit en dégageant une partie des gaz qu'il contient et en ramenant dans la chaudière les particules d'eau entraînées avec elles. Les plateaux employés n'ont d'autre but que celui d'offrir de grandes surfaces d'évaporation au liquide saturé qui descend dans la colonne. On arrive de la sorte à obtenir au liquéfacteur, pour une même température de l'eau réfrigérante dont la consommation est d'ailleurs réduite, un liquide plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

anhydre à une pression inférieure à celle qu'indiquait le même organe dans les anciens types d'appareils. MM. Imbert frères ont pu réduire cette consommation à 12 litres par kilogramme de glace fabriquée.

Généralement, le chauffage à feu nu est aujourd'hui abandonné, la circulation de vapeur dans la chaudière présentant le double avantage d'assurer un chauffage plus régulier et de supprimer les incrustations et, par suite, les risques d'explosions.

Pour éviter de donner à la chaudière une hauteur démesurée, tous les constructeurs de machines à affinité ont renoncé dans beaucoup de cas à la disposition verticale (qui semble faciliter cependant la concentration naturelle des parties les plus riches de la solution au sommet de la chaudière), et adopté la calandre horizontale surmontée de l'analyseur rectificateur placé verticalement. Une plate-forme circulaire permet la visite des soupapes et des joints à la partie supérieure de ce dernier appareil.

Dans le type d'appareil récemment combiné par MM. Imbert frères, la dissolution est chauffée par la condensation d'un courant de vapeur traversant une série de tubes horizontaux, répartis en quatre faisceaux distincts dont la surface de chauffe a été considérablement augmentée, en même temps que le volume de la solution ammoniacale était réduit dans de notables proportions.

Ces constructeurs ont aussi imaginé pour les types de grande puissance quelques dispositifs nouveaux qu'ils ont introduits dans la construction du liquéfacteur, de l'échangeur et de l'absorpteur qui sont cependant toujours établis sur le principe de condenseurs à surface.

Le liquéfacteur est formé de deux ou plusieurs serpentins placés parallèlement mais indépendants, l'un pouvant fonctionner sans l'autre en cas d'accident. La cuve en tôle qui le renferme est constituée sur l'une de ses faces verticales par une paroi mobile, facilement démontable au moyen de boulons et permettant la visite et le nettoyage des serpentins et de la cuve aussi souvent qu'il est nécessaire, suivant la qualité des eaux employées. Par une augmentation de hauteur en même temps que par une sensible diminution des sections données à la cuve, les constructeurs peuvent obtenir un plus rapide écoulement de l'eau, le renouvellement plus fréquent des surfaces en contact et par suite une meilleure utilisation de l'eau qui sort presque bouillante de la cuve.

L'échangeur est constitué par trois ou quatre faisceaux tubulaires horizontaux renfermés dans un nombre égal de corps cylindriques superposés. Les deux solutions riche et pauvre, dont il faut provoquer l'échange des températures, passent de l'un à l'autre faisceau alternativement à l'intérieur et à l'extérieur des tubes, de façon à rendre égaux pour chacune d'elles les volumes totaux mis en contact et les surfaces totales d'échange. Les deux circulations sont méthodiques; celle du liquide riche froid se fait de bas en haut, celle du liquide pauvre chaud en sens contraire.

Les faisceaux tubulaires sont formés de tubes de dimensions moyennes, rectilignes et, par conséquent, non fatigués par un travail de torsion. Ils sont emmanchés à fond

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et sertis dans de fortes plaques. Cette construction très solide et très économique a en outre l'avantage de présenter de sérieuses garanties au point de vue de l'étanchéité de ces quatre organes.

La différence totale entre les températures extrêmes des deux liquides étant d'une centaine de degrés, pour chaque vase elle n'est que du quart de ce chiffre; par suite aucun travail de dilatation n'est à craindre.

L'appareil dit complément-échangeur, qui vient achever le refroidissement de la solution pauvre, est établi sur le principe bien connu du réfrigérant Baudelot, c'est-à-dire que le serpentin est exposé à l'air libre à l'action d'une mince couche d'eau. Il est très efficace, d'un accès commode et facile à réparer, et de plus, toute fuite d'ammoniac est immédiatement dénoncée par l'odeur. Dans les anciens dispositifs, au contraire, où les serpentins étaient plongés dans l'eau, des fuites pouvaient se déclarer à l'insu du mécanicien, l'ammoniac étant absorbé rapidement par l'eau environnante.

Le vase d'absorption comprend, comme l'échangeur, deux, trois ou quatre éléments superposés horizontalement. Le liquide pauvre venant de la chaudière arrive par le haut et va en s'enrichissant de chaque vase supérieur au vase inférieur en s'écoulant par un déversoir qui n'entraîne que la partie supérieure de chaque nappe liquide, c'est-à-dire la plus enrichie. Le gaz arrive par le bas de l'appareil et circule en sens inverse du liquide pauvre. Dans l'intérieur de chaque faisceau tubulaire et de bas en haut de l'appareil, circule l'eau de refroidissement.

Le vase supérieur est surmonté d'un dôme vertical à l'intérieur duquel sont logés des plateaux formant une sorte de rectificateur. Sur ceux-ci s'écoule en nappe la solution pauvre qui, grâce à la grande surface de contact qu'elle offre dans ces conditions aux vapeurs ammoniacales, les dissout rapidement. En outre, comme pendant ce trajet dans le dôme, le dégagement de chaleur n'est point combattu par une circulation d'eau, la solution qui en sort possède une température d'environ 40 degrés. Une double circulation d'eau dans les éléments horizontaux permet de combattre ensuite énergiquement cet accroissement de chaleur et cette eau, mieux utilisée que dans les anciens appareils, peut sortir de l'absorpteur à une température sensiblement égale à celle du liquide saturé dans le dôme. Les deux vases inférieurs servent de réservoirs au liquide régénéré.

Dans le congélateur, les constructeurs ont cherché surtout à diminuer le développement du serpentin détendeur et les dimensions totales de la cuve par l'emploi d'une circulation plus rapide du chlorure qui a pour effet d'augmenter considérablement la quantité de liquide mise en contact dans un temps donné avec la surface réfrigérante des tubes.

Avec les améliorations qu'elle a présentées à l'Exposition de 1889, la machine à affinité semble avoir atteint son dernier degré de perfectionnement.

On lui a reproché l'emploi de hautes pressions. Nous pensons que ce reproche n'a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'une valeur absolument relative lorsque les appareils sont de construction soignée. Ces pressions, qui peuvent s'élever dans les pays chauds à 18 à 20 atmosphères, ne dépassent pas dans nos climats 8 à 12, et ne peuvent en conséquence donner lieu à aucune inquiétude à notre époque où les pressions ordinaires de marche dans certains générateurs de vapeur sont bien souvent supérieures à ce dernier chiffre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS CONTINUS DOMESTIQUES.

L'utilisation du froid artificiel et la consommation de la glace se généralisant de plus en plus, les constructeurs ont été amenés dans ces dernières années à combiner des types de machines à production faible (jusqu'à 25 kilogrammes à l'heure), mais continue, répondant aux besoins de la petite industrie et par suite susceptibles d'être installées partout, dans le sateliers, magasins, châteaux, exploitations agricoles, laiteries, fromageries, etc.

La condition essentielle pour ces appareils est d'assurer un fonctionnement certain et la plus grande facilité de conduite et d'entretien, d'accès et de graissage même pendant la marche.

En général, ils appartiennent à la catégorie des machines à compression. Les organes divers qui constituent la machine sont groupés sur le même bâti, de façon à constituer un ensemble aussi compact que possible, n'occupant qu'un emplacement restreint, et n'entraînant aucuns frais de fondation ou d'installation. Dans ces conditions, il est facile de déplacer ces machines à volonté, et elles peuvent produire de la glace une heure après leur mise en marche.

Le mécanisme de ces machines étant très soigné, leur marche est douce, régulière et ne donne lieu à aucun bruit, échauffement ou trépidation. Elles peuvent être actionnées, soit par un moteur spécial indépendant à gaz, à pétrole ou à vapeur, soit par un moteur à vapeur installé sur le même socle, ou par une transmission et même par un petit manège. La force motrice exigée est très réduite.

La Compagnie Pictet construit des types de 5 à 20 kilogrammes. La pompe de compression à circulation d'eau et le condenseur, tous deux verticaux, sont juxtaposés; la pompe est actionnée par courroie. Le réfrigérant est une cuve en bois et tôle à section rectangulaire, surmontée d'une potence à l'aide de laquelle on opère la mise en place et l'enlèvement des mouleaux.

Dans le type Fixary (5 à 15 kilogrammes) le condenseur et le récipient de gaz liquéfié sont renfermés dans une colonne qui porte à sa partie supérieure le bac à glace et son serpentin de détente et latéralement la pompe de compression. Celle-ci est à un seul cylindre vertical à simple effet; elle est pourvue, comme les machines à grande production, d'une chambre de refroidissement et d'une soupape d'équilibre régulatrice. L'huile contenue dans la chambre de refroidissement sert à la lubrification de la pompe et s'oppose aux fuites par le presse-étoupe.

Le type de 10 kilogrammes à l'heure absorbe une force d'un cheval et demi, le type de 15 kilogrammes prend deux chevaux.

MM. Douane et Jobin construisent également de petits appareils à chlorure de méthyle qui peuvent produire de 5 à 12 kilogrammes de glace, en consommant trois quarts de cheval pour le premier type et un cheval et demi pour le type supérieur. Le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compresseur ne comporte qu'un cylindre unique dont le piston est actionné par un système de cadre à glissière et manivelle, et ce cylindre baigne dans l'enveloppe même du condenseur qui ne comprend qu'un seul serpentin. Le congélateur n'est autre qu'une cuve à double enveloppe parfaitement isolée. C'est dans la paroi de cette cuve que le gaz liquéfié se détend directement et produit le froid sans l'intermédiaire d'un liquide incongelable. Cette combinaison des organes rend l'appareil très portatif.

Le fonctionnement de ces machines à petite production est en général satisfaisant et elles rendent de très grands services dans certaines applications particulières.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

RENDEMENT ET CHOIX DES MACHINES À FROID.

Il résulte du principe général sur lequel repose le fonctionnement de toute machine frigorifique que le coefficient économique de ce genre de machine est le rapport de deux quantités de chaleur : celle qui est enlevée au corps à refroidir et celle qui correspond au travail moteur effectif consommé. En d'autres termes, la machine frigorifique n'est autre qu'une machine thermique renversée.

La théorie indique que si l'on admet que la compression et la détente soient adiabatiques, le fluide décrira le cycle de rendement maximum ou de Carnot, et par suite :

1° Que le froid produit dépend à la fois de la température initiale du fluide, de celle de l'agent réfrigérant et du degré de la détente;

2° Qu'entre les mêmes limites de température, la nature du fluide utilisé est indifférente en ce qui concerne le rendement du cycle;

3° Que le rendement est d'autant meilleur que l'écart qui existe entre les températures extrêmes du cycle est moins considérable, c'est-à-dire que la température du milieu refroidi est plus élevée;

4° Qu'entre les mêmes températures extrêmes, la quantité théorique de chaleur négative produite par calorie dépensée (ou rendement) est exactement la même, quel que soit le système de machine employé.

Le rendement étant indépendant de la nature du fluide employé, ce serait donc uniquement sur des considérations purement pratiques, température à produire, propriétés physiques et chimiques du gaz, dangers ou avantages de son emploi, etc., facilités d'installation, de conduite et d'entretien, prix d'achat et d'établissement des appareils, etc., que devraient être basés le choix de l'agent producteur du froid et celui de la machine qui le met en œuvre.

Mais il y a lieu de remarquer de suite qu'en pratique, le rendement maximum n'est jamais atteint, à beaucoup près, le cycle décrit par le fluide différant de celui de Carnot pour plusieurs causes, et notamment la conductibilité des parois qui s'oppose à la réalisation des compressions et détentes adiabatiques.

De plus, le rendement frigorifique est essentiellement variable, suivant la puissance de la machine à froid, le rendement et la consommation de son moteur, le degré du froid à produire, etc.

L'on conçoit donc qu'aujourd'hui, dans la plupart des cas, devant le nombre toujours croissant des types offerts, en présence des dispositions ingénieuses et des perfectionnements réalisés qui rendent tous ces types comparables et à peu près équivalents au point de vue de la construction et du prix d'achat, et rendent également l'emploi de tel ou tel fluide presque indifférent, en présence de l'extension des besoins à satisfaire qui exigent l'emploi de machines de plus en plus puissantes, la connaissance du rendement de la machine, dans des conditions déterminées, prenne au contraire une importance con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sidérable. C'est cette notion qui doit guider à peu près uniquement l'industriel dans l'examen approfondi des types concurrents, et pousser le constructeur à perfectionner sa machine de manière à lui permettre de répondre de mieux en mieux aux exigences de la théorie.

Dans ces conditions, les considérations précédentes, propriétés du gaz, dangers, facilités, etc., qui autrefois formaient pour ainsi dire la base déterminante du choix à faire, perdent beaucoup de leur valeur et ne jouent plus qu'un rôle secondaire. Nous croyons que cette évolution constitue l'un des caractères principaux et les plus intéressants du développement de l'industrie du froid à l'époque actuelle.

Mais si la construction des machines frigorifiques est aujourd'hui bien connue et de plus en plus satisfaisante, si les avantages et les inconvénients de telle ou telle disposition des organes essentiels sont pratiquement assez bien déterminés, il s'en faut de beaucoup que, même pour les constructeurs, la question du rendement économique soit complètement élucidée.

Il est vrai que la détermination du rendement de ce genre de machines est loin d'être une opération pratique aussi simple et aussi courante que celle des appareils à vapeur où la chaleur consommée et le travail produit peuvent être mesurés d'une manière facile, rapide et sûre, au moyen d'appareils mécaniques peu compliqués. Au contraire, le nombre des causes extérieures qui peuvent modifier profondément le rendement des machines à froid est si considérable que cette détermination ne peut être obtenue que par des essais scientifiques de longue durée, à l'aide de méthodes spéciales et d'appareils de mesure appropriés, et encore le résultat obtenu, loin d'être général, ne s'applique-t-il qu'à une machine de puissance donnée, fonctionnant dans les conditions particulières de marche et de températures de l'air ambiant, de l'eau de condensation et du froid produit réalisées pendant l'exécution des essais.

Malgré l'importance de la question, le nombre est encore très limité des expériences qui, par la méthode suivie et les précautions prises, assurent aux résultats obtenus toutes les garanties désirables d'exactitude.

A la suite des études faites en vue de l'installation de machines frigorifiques à la Morgue (1881), les machines à affinité furent placées en première ligne. Les essais prétendus comparatifs, exécutés de 1884 à 1887 sur divers types de machines par les soins de la Société polytechnique de Munich, ont amené à un classement tout différent. La machine Linde fut classée au premier rang, puis venaient la machine Pictet, les machines à absorption et enfin les machines à air, et cependant les conditions de marche ne furent jamais comparables. Le froid produit était mesuré en kilogrammes de glace, alors que le bain incongelable était amené à des températures inégales, souvent très différentes, et fréquemment inférieures à celle qui est employée pour la congélation de l'eau (— 5 à — 7 degrés). En outre, les machines expérimentées étaient de puissances variées, disposées en vue d'usages plus ou moins spéciaux, actionnées par des moteurs plus ou moins économiques, alimentées de vapeur par des chaudières à vaporisation

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diverses et brûlant des combustibles de qualités différentes, et de plus, tous ces appareils étaient en service depuis un temps plus ou moins éloigné. Enfin, les expériences ont été faites, non simultanément, mais dans un intervalle de quatre années et dans des établissements distincts, c'est-à-dire dans des conditions extrêmement variables de température pour l'air extérieur et l'eau employée à la condensation. Il est permis d'affirmer en pareilles conditions que les résultats, examinés au point de vue de la comparaison des rendements, ne peuvent fournir que des renseignements fort douteux.

Les industriels, les constructeurs, certaines administrations publiques se sont donc vivement préoccupés de rechercher, pendant ces dernières années, un mode d'expérimentation plus exact et plus précis.

La méthode la plus rationnelle [1] consiste à mesurer directement la quantité de chaleur consommée et à déterminer le nombre des frigories produites pendant la durée de l'expérience.

L'unité calorifique choisie est le kilogramme de vapeur et non le kilogramme de charbon; on élimine ainsi tous les éléments d'incertitude ou d'erreur qui peuvent, dans la comparaison d'expériences répétées sur une même machine ou dans celle des rendements de plusieurs machines données, provenir de l'utilisation plus ou moins bonne du combustible brûlé. La machine, amenée à son fonctionnement de régime permanent, est utilisée pour le refroidissement d'une solution incongelable à une température déterminée. Le bain pris à cette température est réchauffé d'un certain nombre de degrés (par un serpentin à vapeur), puis ramené à sa température initiale par le jeu de la machine. Connaissant le volume de solution refroidi, ses températures initiale et finale et la chaleur spécifique du liquide, on détermine le nombre des frigories produites. Si, d'un autre côté, l'on a mesuré par le jaugeage de l'eau condensée, la quantité de vapeur consommée pendant le refroidissement du liquide et déterminé la température d'entrée de la vapeur et celle de sortie de l'eau condensée, l'on pourra calculer la quantité de chaleur consommée. Le rapport des deux chiffres obtenus donne le rendement frigorifique du système dans des conditions de température déterminées du bain et de l'eau de condensation.

Cette méthode, qui est susceptible de donner des résultats rigoureusement exacts avec toutes les machines à bases chimiques, n'est plus aussi facilement applicable aux machines qui produisent le froid par la détente de l'air, car dans ce cas l'état plus ou moins hygrométrique du gaz exerce une influence notable sur le rendement et les mesures de température et de débit deviennent plus incertaines. Aussi nous contenterons-nous, pour les machines à air, de transcrire quelques-uns des renseignements plus ou moins précis que la pratique courante de ces appareils a permis d'obtenir sur leur rendement.

[1] Préconisée en 1889 par la Commission d'étude des procédés frigorifiques instituée au Ministère de la guerre sous la présidence de M. le sénateur Berthelot, cette méthode a été appliquée depuis à la Station centrale créée la même année à Munich pour l'essai des machines à froid.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à air. — La théorie indique que l'influence des résistances passives, des espaces nuisibles et de l'humidité de l'air sur le rendement est d'autant plus grande que la pression de marche est plus faible, mais que, d'autre part, l'effet utile ne croît pas proportionnellement à cette pression. Ces résultats contradictoires expliquent pourquoi les constructeurs observent un juste milieu en ne poussant la compression de l'air qu'à 3 ou 4 atmosphères. Dans ces conditions, le rendement calculé par cheval effectif et par heure (en supposant, en bonne marche industrielle, la consommation du moteur de 10 kilogrammes de vapeur par cheval indiqué et de 11 kilogrammes par cheval effectif et la vaporisation des chaudières de 7 kilogr. 5 d'eau injectée froide par kilogramme de houille) s'élèverait en moyenne à 850 frigories. Avec l'injection d'eau au compresseur le gain est d'environ 40 p. 100. Le rendement serait maximum à 2 atmosphères et demie; à 3 atmosphères et demie, qui est la pression moyenne de marche, il devrait être de 1,200 frigories et l'effet utile de 22 à 24 frigories par mètre cube d'air passé dans la machine.

Mais comme le rendement organique des machines à air ne dépasse pas 80 p. 100, ce rendement frigorifique n'est jamais atteint.

La machine Giffard exposée en 1878 comprimait de l'air à la pression de 2 kilogr. 500; la température différentielle de l'air à son entrée et à sa sortie au détendeur (— 30 degrés) était de 60 degrés, le volume fourni de 522 mètres cubes à l'heure, la force motrice consommée de 15 chevaux effectifs constatés. Par suite, le rendement était de 682 frigories par cheval effectif et de 62 frigories par kilogramme de vapeur.

Une machine Hall n° 6 peut fournir 370 mètres cubes d'air froid à — 55 degrés par heure en consommant 28,5 chevaux indiqués, soit une production de 24 frigories environ par kilogramme de vapeur.

M. Lightfoot a constaté qu'une machine verticale puissante (1,700 mètres cubes) de son système (genre Hall) fournissait à l'heure 453 kilogr. 6 d'air à — 62 degrés (température initiale 15°, 5) avec une dépense de force de 18 chevaux indiqués. La quantité de frigories obtenues était donc de 8,390, soit 46,6 par kilogramme de vapeur et 412 par kilogramme de charbon, la consommation mesurée de charbon étant de 1 kilogr. 130 par cheval indiqué. Les trois machines Hall et Haslam des Victoria Docks à Londres donnent 28,9 frigories par kilogramme de vapeur avec de l'air à — 45 degrés.

Ces exemples suffisent pour faire constater le faible rendement des machines à air et démontrer dans quelle proportion le rendement s'élève à mesure que la température du réfrigérant et la puissance des machines employées augmentent.

Dans le système Popp, le rendement frigorifique est encore plus faible, le travail de la détente étant utilisé comme force motrice au lieu d'être récupéré sur l'arbre du volant pour diminuer le travail de compression.

Machines à vapeurs liquéfiables. — L'on sait qu'à cause de leurs températures finales

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins basses, de la chaleur latente de volatilisation plus élevée que la chaleur de détente de l'air, de leurs dimensions moins encombrantes, de leurs espaces nuisibles et de leurs résistances passives plus réduits, de l'échauffement moindre pendant la compression, le rendement des machines à gaz liquéfiables doit être nécessairement plus élevé que celui des machines à air. La surchauffe au compresseur, les fuites, les espaces nuisibles sont les principales causes qui tendent à abaisser la valeur du rendement pratique obtenu. Nous avons vu que les constructeurs actuels apportent tous leurs soins à combattre cette triple influence.

Théoriquement, pour les mêmes températures extrêmes et à égalité de volume, l'ammoniac produit un effet utile trois fois plus grand que l'acide sulfureux [1], mais le rendement reste sensiblement le même, à peu près le triple de celui fourni par l'air à demi saturé dans les mêmes conditions de température finale. Ce rendement augmente avec la température du réfrigérant. Les variations de la température de l'eau de condensation ont également une très grande influence; ainsi, pour l'acide sulfureux, le rendement passe du simple au double suivant que l'eau condensante marque 40 ou 15 degrés de chaleur.

Le rendement théorique d'une machine fonctionnant sans surchauffe, entre les températures limites de + 18 degrés au condenseur et de — 15 degrés au réfrigérant, serait pour l'ammoniac de 367 frigories et pour l'acide sulfureux de 363 frigories par kilogramme de vapeur. Dans une marche avec surchauffe, il serait, avec l'ammoniac, de 389 frigories si la température finale était de — 12°, 4 et s'abaisserait à 198 frigories pour une température de — 30 degrés.

L'effet utile par mètre cube de gaz aspiré est de 197 frigories pour l'acide sulfureux et de 562 pour l'ammoniac sans surchauffe entre 18 et — 15 degrés. Il est avec surchauffe à — 12°, 4 de 198 pour l'acide sulfureux et à — 30 degrés de 295 pour l'ammoniac [2].

Les seules expériences qui paraissent avoir été exécutées d'une façon régulière sur les machines à gaz liquéfiables sont celles de l'Association polytechnique à la station centrale de Munich (1889). Elles ont porté sur une machine Pictet à liquide binaire construite par MM. Grubss et Cie et une machine Linde. Chaque machine était susceptible de produire 50,000 frigories à l'heure avec une température de — 6 degrés au bain incongelable, possédait son propre moteur et toutes deux étaient placées dans des conditions d'expérience identiques.

La vapeur était fournie aux deux moteurs par le même générateur chauffé d'une façon indirecte par la vapeur d'une première chaudière. La circulation d'eau de condensation et celle de l'eau salée dépendaient d'une machine spéciale; il y a lieu de tenir

[1] La Compagnie Pictet a combiné tout récemment un dispositif de machine Compound qui permet d'abaisser économiquement la température de l'air à — 25 degrés. Un appareil échangeur placé entre les deux cylindres abaisse la température du gaz entre la première et la deuxième période de la compression.

[2] Ledoux, *Théorie des machines à froid.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

compte de ce fait dans l'examen des chiffres du rendement. Les surfaces actives des condenseurs et des réfrigérants étaient les mêmes pour les deux machines.

La température de l'eau de refroidissement à son entrée dans le condenseur a été constamment maintenue à 9°, 5, mais la température de sortie a été réglée successivement à environ 20 et 35 degrés. Dans la seconde série d'essais, la surface du réfrigérant a été doublée de façon à déterminer l'influence de cette donnée sur le rendement.

Le tableau suivant donne les résultats obtenus avec la machine Linde.

	SURFACE SIMPLE DE RÉFRIGÉRANT.					SURFACE DOUBLE.		
TEMPÉRATURES LIMITES.....	+6°+3°	−2°−5°	−10°−13°	−18°−21°	−2°−5°	+6°+3°	−2°−5°	−18°−21°
Production de frigories au réfrigérant par heure.....	78.140	58.110	39.780	26.860	49.360	88.980	64.390	29.250
TRAVAIL INDIQUÉ EN CHEVAUX :								
Au moteur..... a =	18,14	18,26	17,03	15,70	24,41	18,13	18,27	15,86
Au compresseur..... b =	15,53	15,20	14,31	12,63	21,86	16,20	16,06	13,00
Rapport $\frac{a}{b}$.....	0,86	0,83	0,84	0,80	0,89	0,89	0,88	0,82
Consommation d'eau par cheval-heure indiqué au moteur.....	10,12	10,20	10,31	10,48	9,78	10,06	9,97	10,25
FRIGORIES PAR HEURE :								
Par cheval indiqué au moteur....	4308	3182	2336	1711	2022	4908	3524	1861
Par cheval indiqué au compresseur.	5031	3823	2780	2127	2258	5493	4009	2271
Par kilogr. d'eau d'alimentation...	425,6	312,1	226,5	163,3	202,7	488,1	353,4	182,0
TEMPÉRATURE DE SORTIE DE L'EAU DU CONDENSEUR.....	+ 20°	+ 20°	+ 20°	+ 20°	+ 35°	+ 20°	+ 20°	+ 20°

Les températures limites indiquées au tableau sont: la plus basse, celle du bain salé à sa sortie du réfrigérant; la plus haute, celle du même bain à sa rentrée dans le réfrigérant après s'être réchauffé de 3 degrés dans un échangeur de températures.

Le rendement s'est donc abaissé avec cette machine à ammoniac (de construction soignée) de 27.4 p. 100 quand la température produite au réfrigérant est descendue de — 3°, 5 à — 11°, 5 et de 47.7 p. 100 quand l'abaissement a été de 16 degrés (— 3°, 5 à — 19°, 5). En outre, entre les mêmes limites de températures (+ 20 degrés à — 13 degrés), ce rendement est inférieur d'environ 40 p. 100 au rendement théorique.

Seconde remarque : lorsque la température au condenseur a passé de 20 à 35 degrés, le rendement a diminué d'environ 35 p. 100.

Enfin lorsque la surface des tubes du réfrigérant a été portée du simple au double, le rendement a été augmenté de 14.7 à 11.4 p. 100. Ces résultats d'expériences sont intéressants et confirment pleinement les indications fournies par la théorie, mais il y a lieu de remarquer que les rendements obtenus ne seraient pas atteints avec des appareils en marche industrielle et ayant fourni un assez long service.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les résultats fournis par la machine Pictet à mélange binaire sont un peu inférieurs aux précédents. Les différences observées proviennent principalement de la marche peu régulière du moteur de cette machine dont la consommation de vapeur, au cours des essais de marche, a varié d'une façon très sensible de 10 kilogr. 5 à 11 kilogr. 65, 12 kilogr. 23 et même 14 kilogrammes en marche réduite. Nous considérons donc ces résultats comme entachés d'incertitude.

En résumé, il semble permis d'affirmer que pour toutes les machines à gaz liquéfiables, à quelque type qu'elles appartiennent, le rendement pratique est à peu près le même lorsque les machines sont de puissances égales et travaillent entre les mêmes limites de températures, la température la plus basse étant égale ou supérieure à celle d'ébullition du liquide le moins volatil.

Machines à affinité. — Nous avons vu que les machines à affinité, qui utilisent la chaleur du foyer directement sans l'intervention d'aucun organe mécanique, doivent en théorie fournir le rendement le plus élevé, mais qu'en pratique ce rendement est limité par l'influence des réchauffements extérieurs et des entraînements d'eau dans le condenseur et par la perte de chaleur que cause le refroidissement obligé du vase d'absorption.

Cette influence est si considérable que le rendement calculé, qui s'élèverait, pour des températures de + 15 degrés au condenseur et de — 15 degrés au réfrigérant, à 4,105 frigories par kilogramme de vapeur si les entraînements d'eau étaient nuls, s'abaisse rapidement à 237 frigories lorsque le poids de l'eau entraînée s'élève à 5 p. 100 de celui du gaz. L'effet utile s'abaisse très vite avec la température du réfrigérant; avec une température de 15 degrés au condenseur et 5 p. 100 d'eau entraînée, il est de 486 frigories à — 15 degrés et de 259 à — 30 degrés. Mais le rendement, au contraire de ce qui se passe dans les machines à gaz liquéfiables, varie peu (de 237 à 230 frigories dans les conditions précédentes) quand la température du réfrigérant s'abaisse et aussi quand celle du condenseur s'élève ; la différence dans ce dernier cas est seulement de 34 frigories pour des températures de + 15 degrés et de + 40 degrés [1].

Le rendement pratique est inférieur de 20 à 30 p. 100 aux chiffres précédents, la proportion d'eau entraînée étant de 6 à 8 p. 100, mais il les dépasse quand la proportion d'eau n'atteint que 3 p. 100.

Une machine de 12,000 calories à l'heure a accusé, dans une série d'essais exécutés avec les plus grands soins, un rendement de 126 à 157 frigories pour des températures de — 4 à — 7 degrés au réfrigérant et de + 20 degrés au condenseur.

La machine des salins de Giraud fournie par MM. Rouart donnait en 1881 les résultats suivants après 18 ans de marche : frigories à l'heure 94,116 ; charbon consommé, 44 kilogr. 58 ; frigories produites par kilogramme de charbon, 2,111. En

[1] Ledoux, *Théorie des machines à froid.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

admettant une vaporisation de 7 kilogr. 5 d'eau (alimentation froide) par kilogramme de houille, le rendement par kilogramme de vapeur était de 281 frigories.

MM. Imbert frères ont constaté pour une machine de 1,000 kilogrammes de glace à l'heure (brasserie Winckler à Lyon) une consommation de 440 kilogrammes de vapeur, résultat qui correspondrait à une production de 228 frigories par kilogramme de vapeur.

En résumé, il semble y avoir à l'époque actuelle, pour les types à grande production, équivalence entre les rendements des machines à affinité et ceux des machines à gaz liquéfiables. Pour les puissances faibles ou moyennes, les premières bien construites et bien conduites paraissent devoir être plus avantageuses.

En marche industrielle, pour une température de — 5 degrés au réfrigérant et de + 15 degrés au condenseur, le rendement peut atteindre, avec les machines à bases chimiques de grande puissance, jusqu'à 300 frigories par kilogramme de vapeur; pour une température de — 12 degrés, 220 frigories et pour — 20 degrés, 150 frigories. On peut compter pratiquement sur une production de 100 à 200 frigories, pour des températures modérées et suivant la puissance de la machine, le rendement de son moteur et l'importance matérielle de ses organes.

Les machines à air permettent d'obtenir en service industriel, suivant leur puissance, un rendement de 20 à 40 frigories pour une température de — 60 degrés à la sortie du détendeur et de 25 à 50 pour une température de — 45 degrés.

Consommation d'eau. — Comme il peut arriver dans certaines installations que l'on ait des difficultés à se procurer les quantités d'eau de refroidissement souvent énormes que nécessite le fonctionnement des appareils frigorifiques, les constructeurs se sont également préoccupés, comme nous l'avons déjà indiqué, de réduire la consommation d'eau de leurs machines.

A priori, cette consommation doit croître avec la pression de marche au compresseur; elle doit être aussi plus grande lorsque la machine fonctionne avec surchauffe ou lorsqu'elle est à affinité.

D'après les affirmations des constructeurs, pour une production de 1,000 kilogrammes de glace à l'heure et par kilogramme de glace :

Une machine Hall consomme	35 litres d'eau à + 10 degrés.
Une machine Pictet	30
Une machine Vincent	10
Une machine Linde, Fixary et Rouart	12
Une machine Lebrun	8
Une machine Windhausen	19
Une machine à affinité	20

La consommation augmenterait, comme la force motrice d'ailleurs, de 5 p. 100

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour 2 degrés au-dessus de 10 degrés. Au delà de 20 degrés la consommation augmente plus rapidement.

Consommation de produits chimiques. — L'étanchéité des organes essentiels des machines à bases chimiques étant une condition primordiale de leur bon fonctionnement, nous avons vu que les constructeurs s'attachaient à réduire au minimum les pertes par les joints et les garnitures.

Aussi, peut-on estimer aujourd'hui qu'en pratique, les frais annuels de renouvellement du gaz liquéfié ne dépassent guère, en comptant à 4 francs le prix du kilogramme, 50 francs pour les appareils de petite puissance et 400 francs pour les machines à grande production.

On peut compter que pour les machines à faible production la quantité d'ammoniac liquéfié mise en service est de 1 kilogramme pour 2 kilogr. 5 de glace à l'heure; dans les machines puissantes (1,500 kilogr.) cette proportion est réduite à 1 kilogramme pour 3 kilogr. 6 de glace. Avec l'acide sulfureux, les proportions sont, dans les mêmes conditions, de 1 kilogramme d'acide pour 1 kilogramme et 1 kilogr. 8 de glace suivant la puissance de la machine.

La quantité de solution de chlorure de calcium à 28° Beaumé varie entre 14 et 10 kilogrammes pour 1 kilogramme de glace produite.

Facilités d'installations. Conditions du fonctionnement. — Dans certains cas particuliers, si, par exemple, la machine doit être de faible puissance ou son fonctionnement très intermittent, ou encore en présence de certaines conditions locales, la question de rendement perd de son importance et d'autres considérations telles que la facilité d'installation, la simplicité de marche, etc., entrent en jeu dans la détermination du choix à faire.

Il est incontestable que, comme facilité et commodité d'installation, les machines à air présentent des avantages marqués, surtout avec les types qui comportent les trois cylindres moteur, compresseur et détendeur, et le refroidisseur sur le même socle; dans ce cas une fondation unique suffit pour recevoir la machine. Celle-ci produit, dès le premier tour, à la mise en route, du froid directement utilisable qui est immédiatement conduit dans les locaux à refroidir. Il n'en est pas de même pour les machines à bases chimiques qui comportent des organes plus nombreux et réalisent le transport de chaleur d'une façon plus compliquée, toujours par l'intermédiaire de surfaces métalliques (serpentins) et le plus souvent à l'aide d'un second intermédiaire liquide (bain incongelable), agissant à l'air libre ou enfermé dans une tuyauterie quelquefois très longue et par suite coûteuse.

A égalité de puissance frigorifique, la surface occupée par les machines à air est beaucoup plus réduite que celle prise par les machines à bases chimiques, sauf celles à acide carbonique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La question d'encombrement semble d'ailleurs secondaire dans la plupart des cas, les machines pouvant être montées et les appareils groupés différemment de façon à se prêter aux dispositions des locaux existants. Ce qu'il faut retenir, c'est que l'encombrement minimum sera toujours celui des machines à air et à acide carbonique.

Quant à la simplicité et à la sécurité du fonctionnement, l'étude des gaz et de leurs propriétés permet d'indiquer qu'elles seront presque absolues avec l'air et réalisées à des degrés différents : avec l'ammoniac et l'acide carbonique, à cause des hautes pressions développées ; avec l'acide sulfureux, à cause de ses propriétés toxiques et de sa transformation facile en acide sulfurique ; avec le chlorure de méthyle, à cause de son inflammabilité.

En ce qui concerne les machines à acide carbonique, nous avons dit plus haut que l'ingéniosité de leurs dispositifs et leur construction soignée ne permettaient cependant pas d'affirmer qu'elles sont absolument à l'abri de toute explosion.

Comme conduite, surveillance et entretien, la supériorité appartient encore aux machines à air ; viennent ensuite les machines à gaz liquéfiables et en dernier lieu, mais cependant très près de ces dernières, les machines à affinité qui comportent un plus grand nombre d'organes dont le réglage est un peu plus délicat.

La connaissance des conditions locales et le degré du froid à produire peuvent aussi modifier le choix à faire.

Si la force motrice ne coûte rien ou presque rien (si elle est fournie par une chute d'eau par exemple), si l'approvisionnement en eau de condensation est considérable, ou si la question de sécurité, d'encombrement, de dépense de premier établissement prime tout, il sera préférable de recourir à l'emploi de machines à air, surtout si les températures à produire sont basses. Mais si, au contraire, l'approvisionnement de charbon ou d'eau est limité, la force motrice chère, la question de rendement reprend son rôle prépondérant et il faut revenir aux machines à bases chimiques, surtout si les températures à obtenir sont modérées (— 5 degrés) car, dans ce cas, les rendements de ces machines sont particulièrement avantageux.

Enfin, si la puissance de la machine est peu élevée, il semble qu'il convienne d'adopter une machine à affinité préférablement à une machine à gaz liquéfiable, car, dans ce dernier type, l'importance relative des résistances passives et des espaces nuisibles est d'autant plus grande que la puissance de production est moins élevée.

Prix d'achat et d'installation. — Les prix d'achat des machines frigorifiques se sont réduits pendant ces dix dernières années par suite de la concurrence qui s'est établie et de la mise en service d'un plus grand nombre d'appareils. Ces prix, variables du reste suivant le cours des matières premières, sont peu différents, à égalité de production, pour les appareils des divers types.

Les machines à acide carbonique, plus resserrées, sont les moins chères (de 250 francs à 40 francs par 100 frigories à l'heure, suivant leur puissance), les machines à air les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus coûteuses (de 750 et 400 francs à 100 francs). Pour les petites productions, les machines à affinité sont les plus avantageuses (160 francs pour 100 frigories); au delà de 30,000 calories, elles sont un peu plus coûteuses que les machines à gaz liquéfiables qui coûtent de 300 à 70 francs par 100 frigories produites.

Les machines disposées pour la fabrication de la glace coûtent, en sus des prix précédents et suivant leur production : les machines à affinité 1/5 à 1/20 en plus; les machines à compression 1/3 en plus environ.

L'installation des machines à air est beaucoup moins onéreuse que celle des machines à bases chimiques parce qu'elles demandent des fondations beaucoup plus réduites et des tuyauteries moins longues et moins nombreuses. Les machines à acide carbonique sont, de toutes celles à gaz liquéfiables, celles dont les fondations sont les moins coûteuses et l'emplacement le plus restreint.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS INTERMITTENTS DOMESTIQUES.

Les appareils intermittents, en général de faibles dimensions, sont portatifs, destinés principalement à la fabrication, aujourd'hui très développée, de la glace, des carafes frappées, sorbets, etc., et employés par les limonadiers, confiseurs, restaurateurs, dans les laboratoires de physique et de chimie, dans les hôpitaux, par les pharmaciens et médecins des campagnes, etc. Ils répondent, en un mot, comme les appareils à compression de volume réduit qui ont été décrits dans les chapitres précédents, aux besoins de la petite industrie, mais avec cette différence que l'intervention d'un moteur mécanique quelconque n'y est plus nécessaire pour assurer la marche normale de la fabrication. Ils peuvent être conduits facilement par un homme, ou même ne demander de la part de celui-ci qu'un faible développement de sa force musculaire pendant un temps très court. Aussi sont-ils très répandus.

La production en glace ou en froid équivalent n'y dépasse pas 25 kilogrammes à l'heure.

Les procédés employés se divisent en deux catégories : les procédés chimiques, les procédés physiques ou mécaniques, ou mieux encore et d'une façon plus générale en procédés utilisant la chaleur latente de fusion et en procédés utilisant la chaleur latente de volatilisation.

Nous parlerons d'abord de la dernière catégorie qui renferme les appareils les plus importants.

I. Procédés physiques ou mécaniques.

Appareils à vide. — L'appareil imaginé par M. Carré pour la fabrication des carafes frappées au moyen du froid produit par l'évaporation obtenue en faisant le vide repose directement sur l'expérience de Lesly. Il permet de congeler un kilogramme d'eau en quatre minutes, en employant une pompe pneumatique pour faire le vide et l'acide sulfurique comme absorbant de la vapeur d'eau au fur et à mesure de sa formation. L'acide est logé dans un réservoir horizontal en alliage de plomb et d'antimoine, inattaquable par lui aux températures ordinaires. Ce réservoir communique d'une part avec la carafe à frapper et de l'autre avec la pompe. Une tige reliée au levier de la pompe met en mouvement un agitateur intérieur qui, en renouvelant d'une façon continue la surface du liquide, facilite l'absorption des vapeurs.

M. E. Carré a modifié en 1883 ses appareils en logeant l'acide dans deux réservoirs superposés dont le plus élevé est muni d'une série de diaphragmes qui ont pour but de ralentir la circulation de l'acide. Cette disposition détermine un refroidissement plus énergique. Pour les laboratoires, M. Carré a construit sur un modèle analogue des appareils dans lesquels le vide peut se faire sous une cloche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En général, ces appareils à faire le vide sont délicats à manier et assez compliqués, les pompes sont volumineuses et les déformations, qui se produisent sur le piston et dans le cylindre par suite de l'usure naturelle des matières, sont la cause d'une perte de vide qui rend le travail d'aspiration beaucoup plus considérable.

Appareils à affinité. — Le principe de l'absorption se prête d'une façon remarquable à la construction des appareils intermittents et offre l'avantage de supprimer l'emploi dangereux de l'acide sulfurique.

Le premier type de ce genre construit par M. Carré est bien connu. Il est cependant utile, pour ce qui va suivre, d'en décrire le fonctionnement [1].

Il se compose de deux réservoirs solidement construits, d'inégale capacité; le plus gros s'appelle chaudière, le plus petit congélateur. Dans la chaudière, jusqu'aux trois quarts de sa hauteur, se trouve une solution ammoniacale. Un tube de communication réunit la chaudière au congélateur; il porte un renflement qui renferme deux soupapes ouvrant en sens inverse: l'une destinée au dégagement du gaz, l'autre à son retour. La chaudière est mise sur le feu et le congélateur dans l'eau la plus froide qu'on ait à sa disposition. Le gaz ammoniac abandonne l'eau qui le tenait en dissolution pour se rendre dans le congélateur. Au bout d'un certain temps de chauffage, vers 130 ou 140 degrés centigrades, la presque totalité du gaz ammoniac a passé dans le congélateur où il s'est liquéfié sous l'influence de la pression et du refroidissement, de sorte qu'à ce moment on a, d'une part, une chaudière contenant de l'eau presque pure à une température assez élevée, et d'autre part, un congélateur contenant une quantité notable de gaz liquéfié, qui, comme on le sait, bout à une température de 38 degrés au-dessous de zéro sous la pression ordinaire. Il suffira de provoquer convenablement son évaporation pour obtenir dans le congélateur cette température et un grand nombre de calories négatives qu'on utilisera suivant les besoins.

Pour arriver à ce but, on refroidit la chaudière par un courant d'eau froide; la tension qui y était de 8 à 10 atmosphères s'abaisse immédiatement et sous l'influence de ce vide relatif commence la distillation du gaz ammoniac. Elle s'arrêterait bientôt si on ne détruisait à chaque instant les vapeurs qui se dégagent. Elles sont à cet effet amenées par un tuyau plongeur au fond de la chaudière où elles sont absorbées par le liquide qui y est contenu, de manière que quand l'ébullition du gaz liquéfié a cessé l'appareil se trouve ramené à ses conditions primitives, c'est-à-dire à une chaudière contenant la solution ammoniacale concentrée et froide et un congélateur prêt à recevoir une nouvelle condensation.

Il faut ajouter que les deux réservoirs, en fer forgé, sont hermétiquement clos et qu'avant l'opération, il faut, pour faire revenir tout l'ammoniac dans la chaudière, renverser l'appareil, chaudière en bas, congélateur en l'air, pendant quinze minutes en-

[1] Rouart. *Note sur les appareils à produire le froid.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

viron. Le thermomètre doit être plongé dans un tube rempli d'huile qui est monté sur le dôme de la chaudière. Il faut avoir soin de chauffer doucement avec du charbon de bois, sans que la température dépasse 150 degrés. Le vase contenant l'eau à congeler est couvert par un bouchon en bois et plongé dans le vide du congélateur qui est rempli avec de l'alcool ou un autre liquide incongelable. Le congélateur est enveloppé extérieurement d'un isolant en feutre ou en laine. Le chauffage dure une heure ou une heure et demie suivant la quantité d'eau à congeler (1 ou 2 kilogrammes); la durée de la congélation est la même.

On le voit, ce genre d'appareils est extrêmement simple et facile à conduire; la solution ammoniacale peut servir indéfiniment, si les appareils sont étanches; la seule dépense est celle du combustible et de l'eau. Le prix de revient de la glace est de 3 à 5 centimes le kilogramme.

Les plus grands inconvénients qu'ils présentent sont : la lenteur de leur travail et la haute pression, 15, 18 et quelquefois 20 atmosphères, qu'ils subissent. Ils sont la conséquence de la diminution de la surface condensante qui s'accentue de plus en plus à mesure que la liquéfaction se produit, jusqu'à devenir pour ainsi dire nulle vers la fin de l'opération.

Or, à ce moment, tous les corps étrangers que renferme l'appareil (en grande partie de l'hydrogène dont l'ammoniac provoque le dégagement au contact du fer, surtout à chaud) se trouvent accumulés dans un espace très réduit et leur mélange avec l'ammoniac rend sa liquéfaction d'autant plus laborieuse qu'elle devient d'autre part plus lente par suite de la diminution de la surface condensante. La pression devient donc considérable au-dessus de la solution contenue dans la chaudière; la température à laquelle il faut porter celle-ci doit être augmentée; il en résulte des entraînements d'eau qui nuisent à la rapidité de la congélation.

L'amélioration réalisée récemment par M. Carré et qui consiste dans la simple addition au tube absorbeur d'un petit serpentin, disposé d'ailleurs pour ne pas faire obstacle au retour dans la chaudière du résidu aqueux qui se forme dans le congélateur à chaque opération, change complètement ces conditions. Outre l'augmentation relativement considérable qu'il apporte dans la surface finale de liquéfaction, il constitue encore une région dont les gaz incoercibles sont constamment éliminés et dans laquelle la condensation se produit d'une façon normale jusqu'à la fin de l'opération. Le perfectionnement dû à M. Carré a donc pour but d'assurer la sécurité et la rapidité de fabrication désirables.

MM. Rouart frères construisent des appareils produisant 1 et 2 kilogrammes de glace et analogues à ceux de M. Carré. Ils ont combiné en outre il y a quelques années un type d'appareil intermittent dont la production peut s'élever jusqu'à 25 kilogrammes par opération.

Cet appareil, exposé en 1889, ne diffère des machines industrielles des mêmes constructeurs que par un arrangement tout spécial, qui en rned la surveillance

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et la manœuvre faciles et l'encombrement restreint ; le nombre, le rôle et le fonctionnement des organes principaux restent les mêmes.

La vapeur est fournie par un générateur de dimensions très réduites à une chaudière distillatoire horizontale pourvue d'un rectificateur vertical de hauteur relativement grande. Le liquéfacteur, le vase d'absorption et l'échangeur sont superposés de façon à former une colonne unique qui porte latéralement le congélateur et la cuve ; la tuyauterie n'existe pour ainsi dire plus. Le fût de la colonne est traversé par l'arbre de la pompe, qui actionne en même temps l'hélice de circulation du liquide incongelable ; à l'extrémité de celui-ci est calée la manivelle de commande.

Cet appareil peut être aussi chauffé au gaz. Le congélateur est disposé pour recevoir 12 vases à glace rectangulaires et 4 carafes.

MM. Imbert frères ont également créé une nouvelle série de machines à faible production. L'appareil n° 0 peut fabriquer 12 à 15 kilogrammes de glace à l'heure ; son prix d'achat est peu élevé, son montage et sa conduite à la portée du premier venu.

Ces avantages ont été obtenus en rassemblant les organes sur un bâti unique ; l'échangeur est logé dans la chaudière, la pompe fixée sur le vase d'absorption, le complément d'échangeur rentre dans le liquéfacteur, le récipient à gaz liquéfié est supprimé, la robinetterie simplifiée. Par des dimensions convenables, les constructeurs sont arrivés à rendre la manœuvre de la pompe intermittente, ce qui permet à l'ouvrier chargé de la conduite de vaquer à d'autres occupations, au démoulage de la glace par exemple.

Cet appareil, peu volumineux et facile à conduire, ne nécessite qu'une faible quantité de solution ammoniacale.

En revanche, la production de glace n'y atteint que 3 kilogrammes par kilogramme de charbon, tandis que la consommation d'eau à 10 degrés pour le refroidissement du serpentin liquéfacteur est de 25 litres par kilogramme de glace fabriquée.

L'appareil de Perkins (exposé dans la section anglaise) n'est qu'un dispositif modifié et peu heureux des appareils intermittents de Carré.

MM. Douane et Jobin construisent de petits appareils à compression analogues à leur appareil domestique continu et qui, manœuvrés à l'aide d'un volant à manivelle, peuvent assurer une production de 2 à 3 kilogrammes de glace à l'heure. Ces machines très intéressantes sont utilisées principalement dans les hôpitaux.

II. Procédés chimiques.

Cette catégorie comprend divers appareils de petites dimensions servant à la production et à la conservation du froid. Plusieurs d'entre eux présentent un réel intérêt bien que les procédés qu'ils emploient soient forcément peu économiques et inapplicables pour une grande production. Mais, par suite de leur facilité de manipulation,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ils sont avantageux dans le cas où il s'agit d'obtenir ou de conserver une petite quantité de glace. On se préoccupe alors beaucoup moins du prix de revient de la glace que du prix d'achat de l'appareil, de sa conduite plus ou moins difficile et de sa durée plus ou moins longue. Ainsi, pour frapper l'eau d'une carafe on peut estimer qu'il faut 3 kilogrammes de glace et un kilogramme de sel qui représentent, sans main-d'œuvre, une dépense de 0 fr. 30 à 0 fr. 40.

Pour la fabrication de la glace dans les ménages, on a généralement recours à de simples mélanges auxquels on donne le nom de mélanges réfrigérants et qui agissent en vertu de la loi qui régit le changement d'état des corps. On sait en effet que le passage de l'état solide à l'état liquide exige une certaine quantité de chaleur. Si donc on met un dissolvant liquide en présence d'un corps solide pour lequel il ait une grande affinité, celui-ci se dissoudra avec absorption de chaleur. Cette chaleur sera empruntée au milieu où se passe la réaction et l'on peut ainsi produire de la glace ou refroidir des boissons, des crèmes, etc.

On peut employer trois types de mélanges réfrigérants :

1° Le mélange le plus généralement employé est celui où il y a fusion simple d'un corps. On emploie, par exemple, l'azotate d'ammoniaque et l'eau (Appareils Toselli).

2° Dans le deuxième type, on provoque la dissolution des sels au moyen d'acides; s'il y a un faible dégagement de chaleur provoqué par l'affinité chimique, il se produit un grand refroidissement dû à la liquéfaction.

3° Enfin, on peut doubler l'effet en se servant de glace et d'un corps chimique. L'affinité mutuelle des deux corps les fait fondre tous deux avec absorption d'une grande quantité de chaleur; ainsi le mélange de sel commun et de glace fait descendre le thermomètre jusqu'à 20 degrés au-dessous de zéro.

Parmi les divers appareils figurant à l'Exposition et présentant des dispositifs ingénieux, nous citerons ceux de la maison Bustin, parmi lesquels se trouvent les appareils domestiques bien connus de M. Toselli, sa glacière, sa fontaine réfrigérante, son appareil frappeur, tous basés sur l'emploi de l'azotate d'ammoniaque comme sel réfrigérant. Ce corps présente le grand avantage d'être facilement reconstitué par une simple exposition au soleil.

L'appareil dit frappeur, très simple et très efficace, sert à frapper le liquide dans toute bouteille ou carafe de dimensions et de modèles les plus variés, grâce à l'emploi d'un ressort intérieur appuyant le col du récipient contre une garniture étanche du couvercle de l'appareil.

M. Delpy présentait sa glacière qui est une des plus répandues. Le mélange réfrigérant y est agité par des batteurs tournant autour de la glacière, tandis qu'une spatule amovible remue la crème placée dans le moule central. L'appareil peut produire des

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blocs de 4 kilogrammes et frapper jusqu'à 4 carafes à la fois. Il emploie les divers réfrigérants connus, mais de préférence l'azotate d'ammoniaque.

La glacière Maréchal est basée sur l'emploi de mélanges du troisième type, sel marin et glace pilée. On remplit l'appareil de glace pilée; le sel marin est placé dans un récipient annulaire situé à la partie supérieure. L'immersion du moule fait refluer une partie de l'eau de fusion dans le sel qui fond peu à peu. L'appareil possède donc les avantages de ne présenter aucun vide, de ne pas nécessiter l'emploi d'acides (caractère commun avec les appareils précédents) et enfin de rendre l'agitation inutile.

M. Mabut utilise le nickel pur inoxydable au lieu de fer-blanc pour la fabrication de ses moules, ce qui permet d'employer les acides sans crainte d'infiltration. Le moule est fixe, toute agitation du liquide à congeler est supprimée tandis qu'un batteur hélicoïde agite le réfrigérant au contact du moule dont les parois minces rendent la congélation plus rapide.

BUFFETS, TIMBRES ET GLACIÈRES.

Dans la catégorie des appareils frigorifiques pour l'usage domestique peuvent également se ranger les appareils destinés à conserver fraîches les denrées alimentaires et les boissons, tels sont les buffets, glacières, timbres, etc.

On peut signaler les buffets-glacières de MM. Williams et C^ie^ (Sheperd à Paris); de MM. Willows, de Londres; Flamme Muink, de Liège; Jewett et C^ie^, de Buffalo; Armiger et fils, de Baltimore; de MM. Charles, Mercier et Lederné.

Dans tous ces appareils, on refroidit l'air au contact de la glace, en employant, pour le maintenir aussi froid que possible, diverses précautions ne différant pas sensiblement les unes des autres. La vitrine de MM. Willows est d'un bon aspect et convenablement isolée; la glace est suspendue à la partie supérieure dans un panier en fil de fer, à un endroit dissimulé par les moulures; l'eau s'échappe par un tube caché par un des montants. L'air peut être renouvelé à volonté d'une façon naturelle et la plus grande partie de l'humidité est supprimée à l'intérieur du coffre.

Le timbre-glacière de M. Sheperd jouit des mêmes avantages, la fabrication en est bonne. On a pu conserver à l'Exposition dans un de ces appareils de la viande qui était encore parfaitement comestible au bout de quinze jours. Dans les réfrigérants de MM. Jewett et C^ie^, les réservoirs sont doublés en porcelaine; dans ceux de MM. Armiger et fils, ils sont doublés en fer galvanisé.

La maison Bustin exposait des buffets-glacières dans lesquels l'air se refroidit par circulation dans des tubes perforés; avec ce dispositif l'air est moins chargé d'humidité que dans le cas où il circule directement du récipient à glace dans la chambre de conservation.

Le buffet-glacière de M. Lederné est disposé pour produire un froid peu intense,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais toutes ses parties sont démontables de façon à en rendre le nettoyage et la visite faciles.

On a même employé ces procédés pour la conservation en grand dans les transports par chemins de fer, c'est ainsi que sont établis les wagons-glacières très employés aux États-Unis.

La construction de tous ces appareils est soignée; leurs constructeurs s'efforcent de les rendre de plus en plus pratiques et économiques et en même temps d'y soustraire le plus possible les provisions conservées aux atteintes de l'humidité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE.

APPLICATIONS DU FROID ARTIFICIEL.

FABRICATION INDUSTRIELLE DE LA GLACE.

La glace est devenue à notre époque un objet de consommation courante, et, nous l'avons dit, pour certains pays, un objet de grande nécessité. Depuis qu'elle est obtenue industriellement par les machines, son prix s'est sensiblement réduit et sa consommation s'est considérablement augmentée. Aussi a-t-on vu dans ces dernières années des usines importantes, produisant jusqu'à 100,000 et même 150,000 kilogrammes par 24 heures (Shadwell à Londres), se créer en vue de la fabrication de la glace artificielle, beaucoup plus pure et moins dangereuse que la glace naturelle. Celle-ci, souvent ensemencée de germes morbides, dont la vitalité n'est que momentanément engourdie, n'est pas moins nuisible en effet que les eaux contaminées dont elle provient.

La glace transparente est généralement préférée à la glace opaque, quoiqu'elle soit plus indigeste précisément parce qu'elle est privée d'air. Les constructeurs se sont donc appliqués à obtenir cette transparence exigée par le consommateur.

De tous les procédés mis en œuvre, celui basé sur l'emploi de l'eau distillée paraît à ce point de vue donner les meilleurs résultats. Cette distillation, en dépouillant l'eau employée de tous les corps en suspension ou en dissolution qu'elle renferme, procure de la glace hygiénique et chimiquement pure.

Mais la distillation faite directement entraîne des frais considérables.

L'on conçoit cependant que pour la fabrication de quantités énormes comme celles que nous avons indiquées, l'industriel ait intérêt à opérer la congélation aussi économiquement que possible.

Dans ce but, MM. Rouart frères ont fait breveter en mai 1879 l'application à la fabrication de la glace du principe des distillations successives à différentes pressions et approprié à cet effet des appareils économiques analogues à ceux employés dans les sucreries.

Suivant l'importance de la fabrication, ces appareils peuvent être à trois, quatre, cinq, six distillations et même davantage. Supposons un appareil à quatre chaudières de distillation A, B, C, D. La vapeur produite dans une chaudière à une pression

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 5 atmosphères va se condenser sous sa propre pression dans le serpentin de l'appareil A où la pression est maintenue à 4 atmosphères. La condensation en A produit une évaporation de l'eau qui baigne le serpentin. Cette vapeur vient se condenser dans le deuxième appareil B à une pression de 3 atmosphères, et ainsi de suite. Tous les appareils sont munis de purgeurs pour l'expulsion de l'air. La vapeur condensée est recueillie dans des vases placés à la base des appareils et munis de flotteurs équilibrés à soupapes, d'où elle est amenée par une conduite, préalablement purgée d'air, à un échangeur de température dans lequel elle abandonne à l'eau qui sera ultérieurement distillée la plus grande partie de sa chaleur. De l'échangeur elle est distribuée autour des mouleaux au moyen d'un tuyau plongeur ou flotteur, de façon à éviter toute absorption d'air; des bouteilles alimentaires desservent chacun des vases A, B, C, D.

Ce mode de distillation a été breveté en 1886 par M. Linde. La vapeur produite dans le générateur ordinaire à 7 kilogrammes de pression (165°, 3), par exemple, passe dans le serpentin d'un récipient cylindrique ou appareil distillatoire hermétiquement fermé et rempli d'eau jusqu'à une certaine hauteur. Cette vapeur se condense en abandonnant une portion notable de son calorique au liquide environnant et son débit est réglé de façon à obtenir une pression d'environ 6 kilogrammes (159 degrés) dans le récipient.

La vapeur formée dans le dôme de ce dernier est employée pour l'alimentation de la machine motrice. L'eau condensée obtenue par la chute de pression, recueillie au bas du serpentin, remonte, en traversant sous la pression de 7 kilogrammes une soupape régulatrice, dans un bac ouvert à l'air libre et placé en charge sur le congélateur. Dans ce bac l'eau distillée subit une diminution de pression qui provoque une ébullition spontanée, laquelle chasse l'air tenu en suspension dans l'eau, et sa température s'abaisse de 150 à 100 degrés. Elle est refoulée ensuite dans les serpentins d'un échangeur vertical qu'elle parcourt de haut en bas tandis qu'un courant d'eau froide qui baigne le serpentin traverse la colonne en sens inverse, s'échauffe et va servir à l'alimentation du générateur. L'eau distillée refroidie va s'accumuler sans entraînement d'air dans le réservoir spécial qui alimente les mouleaux.

Ce réservoir de forme particulière, placé en charge, est désigné sous le nom de collecteur à membrane. Il est composé de deux calottes en tôle réunies par leurs bords, entre lesquels est maintenu un diaphragme en caoutchouc. La contenance de ce collecteur est suffisante pour le chargement simultané de toute une rangée de mouleaux. L'eau distillée arrive en pression sous le diaphragme et le soulève progressivement en comprimant l'air renfermé dans la calotte supérieure. Quand la quantité d'eau emmagasinée est suffisante, on ferme le robinet de la conduite d'eau pure et on ouvre la communication avec le tuyau principal d'alimentation des mouleaux. L'arrivée de l'eau dans ceux-ci se faisant sous la pression du diaphragme et en charge, l'air est violemment chassé des récipients qui se remplissent avec rapidité.

Pour obtenir un remplissage uniforme, les moules d'une même rangée sont réunis

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à leur extrémité inférieure par un tube commun. L'alimentation de ce tube se fait à l'aide d'un appareil spécial qui amène l'eau distillée au fond de la première cellule de la rangée. De cette façon le liquide se partage également entre les mouleaux qui se remplissent à niveau égal. L'appareil remplisseur se compose d'un tube flexible muni d'une soupape à son extrémité : cette soupape s'ouvre automatiquement dès que le bout de l'appareil touche le fond de la cellule, de sorte que le remplissage se fait sous l'eau et à l'abri de l'air.

Ces divers dispositifs sont remarquables, quoique un peu dispendieux d'établissement, et méritaient d'être signalés. Une installation de ce genre fonctionnait dans l'exposition de MM. Sulzer frères; elle produisait des blocs de glace absolument transparents et d'une pureté irréprochable dont le poids atteignait jusqu'à 50 et même 100 kilogrammes, et les dimensions 1 mètre de hauteur et 40 centimètres de côté. Le procédé de fabrication est économique puisque la chaleur de condensation est utilisée pour la production de la force motrice et le liquide condensé pour le réchauffement de l'eau d'alimentation. La consommation de charbon pour le chauffage du générateur est augmentée d'un tiers seulement au maximum. La seule perte de chaleur provient de la faible évaporation qui se produit dans le bac à ébullition. On peut réaliser une nouvelle économie en employant pour l'alimentation de l'appareil distillatoire de l'eau déjà échauffée qui a servi à la liquéfaction du gaz ammoniac dans le condenseur.

M. de Stoppani (Cie Fixary) a imaginé en 1887 un autre procédé pour la production de l'eau distillée sans aucune dépense supplémentaire de combustible : il opère simplement la condensation de la vapeur d'échappement du moteur qui actionne les machines à glace. Ce système offre d'ailleurs l'avantage, en supprimant la contre-pression derrière le piston, de transformer les moteurs ordinaires en moteurs à condensation.

Mais comme la vapeur d'échappement s'est chargée de graisse ou d'huile en circulant dans le cylindre, il est nécessaire dans ce procédé, avant de la condenser définitivement, de la débarrasser des particules entraînées. Pour cela on la fait passer dans un épurateur constitué par une série de tôles perforées disposées concentriquement et formant des chicanes sur lesquelles l'huile se dépose. De là, la vapeur se rend dans un condenseur à surfaces où, en même temps qu'elle se condense, elle est débarrassée d'une partie de son air par l'aspiration d'une pompe à air. L'eau condensée encore chaude va se refroidir et se dépouiller des derniers volumes d'air qu'elle tient en suspension dans un second condenseur à surfaces, semblable au premier, mais de hauteur moindre, placé sur le même bâti et en communication également avec la pompe à air. L'eau distillée froide, recueillie au bas de ce dernier appareil, est reprise par une pompe de circulation montée sur le même socle que la pompe à air qui la refoule dans un accumulateur d'où elle est distribuée au réservoir de chargement de mouleaux. Le remplissage de ceux-ci se fait, comme dans le procédé Linde, par une série de crépines à soupape automatique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans certains cas, la vapeur condensée est en quantité insuffisante pour satisfaire aux besoins de la fabrication. Le supplément d'eau (de source autant que possible) est alors fourni par un réservoir spécial qui l'amène dans un filtre épurateur où elle se dépouille de toutes les impuretés en suspension et de la majeure partie des sels calcaires qu'elle contient. A sa sortie du filtre cette eau s'accumule dans un réservoir qui la distribue sous forme de jet dans le tuyau d'amenée de la vapeur au premier condenseur.

Il résulte du mélange une condensation partielle de la vapeur qui porte l'eau épurée à la température d'ébullition dont le degré s'abaisse sous l'action de la pompe à air. Un flotteur assure la fermeture automatique du réservoir d'eau épurée quand il est vide, de façon à empêcher toute rentrée d'air dans le condenseur.

L'eau de refroidissement est fournie par un réservoir en charge qui la refoule dans les tubes du second condenseur; elle passe ensuite autour des serpentins du condenseur à ammoniac et enfin dans les tubes du premier condenseur. La vapeur condensée rencontre donc des surfaces de plus en plus froides à mesure qu'elle avance dans son parcours.

L'ensemble de ce système, appliqué par Lavergne en Amérique, est un peu plus compliqué, mais moins encombrant que les appareils de M. Linde et donne aussi des résultats très satisfaisants comme transparence de la glace et comme économie de fabrication. L'usine de la Société française des glaces pures à Paris, montée avec les appareils Fixary, produit 3,000 kilogrammes de glace par heure.

La vapeur d'échappement pourrait d'ailleurs, dans le cas où elle serait trop chargée de graisse, servir à échauffer, dans un condenseur semblable aux précédents, de l'eau filtrée qui serait dépouillée d'air par le jeu d'une pompe.

Les installations précédentes sont en général très coûteuses et ne sont plus applicables dans le cas d'une fabrication restreinte; on revient alors aux procédés plus anciens : la congélation brusque ou lente, l'emploi du vide et l'agitation de l'eau des moules ou des mouleaux eux-mêmes.

La congélation brusque, qui s'opère en exposant les moules à des températures très basses, comme celles produites par les machines à air, donne une glace opaque et spongieuse, parce que l'air emprisonné dans les cristaux n'a pas le temps de se dégager entièrement. Le prix de revient est élevé en raison du faible rendement des machines à air. M^me^ V^ve^ Warin fabriquait ainsi des sorbets avec la machine Giffard exposée au Palais des produits alimentaires.

La congélation lente donne des blocs durs, transparents et homogènes, comme la glace naturelle. M. Pictet préconise dans ce but l'emploi de bains froids à un ou deux degrés au-dessous de zéro seulement. La congélation se produisant lentement dans le voisinage de zéro, les cristaux se forment et se développent à la longue et l'air en dissolution s'échappe presque complètement. Ce procédé, très simple, a l'inconvénient d'entraîner l'emploi de cuves à glace de grand volume très encombrantes et complique la main-d'œuvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Mignon et Rouart ont imaginé, en 1879, de combiner l'emploi du vide avec le système de la congélation lente. La cuve des congélateurs est fermée par un couvercle formant joint sur tout son pourtour. Sur ce couvercle est branché un tuyau qui relie la cuve à une pompe à faire le vide. Ce dispositif peut même s'appliquer à chaque moule en particulier. Dans les deux cas, le couvercle est garni d'une rondelle en caoutchouc reposant sur un rebord convenable. Le poids du couvercle suffit pour fermer le joint au début de l'opération et le travail ultérieur du vide ne fait qu'augmenter la précision de ce joint. La réalisation de ce procédé, judicieux en théorie, présente certaines complications ou difficultés qui l'ont fait abandonner.

L'agitation de l'eau des moules ou celle des mouleaux, qui a pour but de faciliter le dégagement des bulles d'air, est un procédé encore très employé aujourd'hui et appliqué suivant des modes très variés dans les installations à production moyenne.

MM. Rouart frères ont fait breveter plusieurs dispositifs mécaniques pour l'agitation de l'eau, tels que racloirs en caoutchouc, tiges à plateaux ou à ailettes, vis d'Archimède, mouvements alternatifs de montée ou de descente sous l'action d'une pompe, etc. Tous ces procédés, ainsi que l'emploi des tiges ou baguettes mues par des bielles ou des excentriques, ou la rotation des mouleaux montés horizontalement sur deux axes, ont l'inconvénient de laisser au centre des pains un vide dont la paroi opaque peut faire croire à un défaut de transparence des blocs.

Les mêmes constructeurs ont également cherché à empêcher la formation dans l'axe même des blocs de glace de l'espèce d'aigrette due à la présence de quelques bulles d'air emprisonnées, aigrette qui nuit à la transparence. Ils emploient dans ce but des vases de forme spéciale munis d'une cloison médiane. Le démoulage donne deux pains de glace qu'on peut ensuite réunir par le regel de leurs surfaces extérieures.

Dans le procédé de M. Turettini (Cie Pictet), on produit dans l'eau des mouleaux des remous violents de bas en haut à l'aide d'une insufflation d'air ou d'eau refoulée par une pompe. Ces remous chassent les vésicules d'air en suspension dans l'eau, et les obligent à regagner la surface.

M. Linde réalise la même circulation de l'eau dans l'intérieur des mouleaux par l'emploi de vases pourvus d'une cloison médiane arrêtée à une certaine distance du fond. L'eau à congeler circule d'un vase à l'autre de part et d'autre des cloisons, tandis que les moules avancent dans la cuve, et le liquide incongelable circule en sens inverse.

Certains constructeurs (MM. Douane et Jobin) montent tous les moules d'un même congélateur sur un châssis auquel la machine imprime dans le sens horizontal un mouvement de va-et-vient par excentrique. M. Linde a imaginé également de disposer les moules en faisceau autour d'un cylindre central dans lequel circule le liquide froid et tournant lui-même dans une cuve remplie d'eau.

La Compagnie Pictet exposait en 1889 un nouveau système de fabrication de glace.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cuve de congélation est divisée en deux compartiments, l'un contenant le liquide refroidi, l'autre, l'eau douce à congeler. Dans celle-ci sont plongés des vases plats raccordés au moyen de tuyaux en caoutchouc à un collecteur. Une pompe de circulation amène le liquide froid du premier compartiment au collecteur qui le distribue aux vases. Le trop-plein vient se déverser dans la cuve à bain incongelable, tandis que l'eau maintenue en agitation constante par des hélices se congèle lentement en blocs minces sur les parois extérieures des moules. Il n'est pas inutile de faire remarquer ici que les machines à acide sulfureux sont d'ailleurs, de toutes les machines à glace, celles qui ont reçu et reçoivent encore le plus grand nombre d'applications dans les pays chauds, parce que leurs organes travaillent à des pressions modérées même avec des eaux de condensation très chaudes.

Tous les procédés que nous avons indiqués plus haut ont l'inconvénient de nécessiter des mécanismes un peu compliqués; ils sont délicats, peu rapides, demandent des soins spéciaux, des manipulations supplémentaires et ne donnent jamais à la glace produite une transparence aussi parfaite que les procédés basés sur l'emploi de l'eau distillée. En outre, l'exploitation en est moins économique.

L'organisation des cuves à glace et la manœuvre des mouleaux ont fait aussi dans ces dernières années l'objet d'études intéressantes.

Les serpentins réfrigérants répartis en plusieurs groupes sont placés généralement au fond de la cuve et quelquefois parallèlement aux parois verticales. Ils aboutissent à deux collecteurs, l'un, de gaz liquéfié, l'autre, de vapeurs; au-dessus d'eux sont suspendus les mouleaux à glace. La solution est maintenue en circulation active à l'aide de plusieurs agitateurs parallèles au grand axe de la cuve et mus par autant de câbles portés par des poulies à gorge (Linde, Fixary).

Ces mouleaux sont en tôle étamée et, pour faciliter le démoulage, affectent la forme de pyramides tronquées. Dans les appareils à faible production, les mouleaux sont généralement manœuvrés à bras. Dans les installations importantes, chaque rangée de moules est montée sur un petit chariot en fer qui peut se déplacer sur des rails dans le sens de la longueur de la cuve. L'avancement s'opère au moyen d'une crémaillère et d'un levier et toujours vers l'extrémité où se fait le démoulage, de façon à procurer à l'extrémité opposée une place nouvelle pour la rangée de moules qui vient d'être rechargée d'eau.

Quand une série de moules est entièrement congelée, on soulève le chariot qui la porte à l'aide d'un treuil roulant commandé à la main ou par une transmission. Ce treuil se déplace sur deux poutres en fer ou des rails fixés contre les murs de la salle. Les moules, une fois sortis de la cuve, sont plongés tous ensemble et d'un seul coup dans un réservoir de faible largeur qui prolonge la cuve et qui est rempli d'eau tiède provenant soit de la condensation des machines motrices, soit du condenseur de gaz comprimé.

La rangée de moules est soulevée de nouveau, puis placée sur un châssis que l'on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait basculer sur un plan incliné, au moyen d'un levier à contrepoids, de façon à chasser les pains de glace des moules. Ceux-ci, ramenés vides à l'autre extrémité de la cuve, sont plongés dans un compartiment spécial où on les remplit de l'eau à congeler, puis replacés dans le bain. Le démoulage dure vingt minutes environ.

Toutes ces opérations successives n'exigent qu'un seul homme et s'exécutent d'une façon rapide et sûre à l'aide des ingénieux mécanismes employés.

Il semble donc permis d'affirmer que le problème de la fabrication industrielle de la glace transparente est aujourd'hui résolu d'une façon complète grâce à l'économie réalisée dans la préparation de l'eau distillée et à la grande simplicité apportée dans le service du générateur à glace. Aussi n'est-il pas surprenant que, dans certaine installation belge que l'on nous a citée et produisant 24,000 kilogrammes de glace en 24 heures, le prix de revient de la glace se soit abaissé au chiffre très réduit de 3 fr. 75 les 1000 kilogrammes. L'on peut estimer qu'en moyenne, suivant l'importance de l'établissement, ce prix est de 5 à 10 francs par tonne, chiffre souvent inférieur à la dépense qui résulte de la récolte, du transport et de la conservation de la glace naturelle. Ce résultat, absolument remarquable, ne peut qu'aider dans une large mesure au développement toujours croissant de cette branche de l'industrie du froid.

PRODUCTION ET TRANSMISSION DE L'AIR FROID.

La fabrication de la glace n'est plus aujourd'hui, comme il y a vingt ans, la plus importante et pour ainsi dire l'unique application du froid artificiel.

D'autres applications nombreuses et très variées de ce nouvel élément de l'industrie sont apparues et se généralisent de jour en jour. La plus intéressante et, sans contredit, celle qui a donné lieu aux recherches les plus suivies et aux études les plus fécondes, consiste dans le refroidissement de l'atmosphère de locaux destinés à des usages divers, brasseries, chocolateries, magasins de conservation de denrées alimentaires, etc. C'est en effet l'air qui est généralement employé comme véhicule du froid quand il s'agit de refroidir des solides.

Il semblerait téméraire d'affirmer que le problème de la production et de la distribution économique de l'air froid est aujourd'hui résolu d'une façon complète, mais, du moins, l'on peut dire que chaque nouvelle étude aboutit à une solution, toujours plus satisfaisante, qui marque un réel progrès dans la bonne voie.

Les procédés de refroidissement des locaux mis en œuvre depuis 1878 sont nombreux. Nous pensons pouvoir les grouper en un certain nombre de classes et de catégories ainsi que l'indique le tableau suivant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PROCÉDÉS DE REFROIDISSEMENT DES LOCAUX.

I. Par la glace naturelle ou artificielle emmagasinée ou non dans le local à refroidir :

1° Par contact direct de l'air en circulation naturelle avec la glace nue;
2° Par contact de l'air en stagnation avec une paroi métallique refroidie par la glace.

II. Par amenée en petites masses très froides d'air détendu refroidi directement sous l'action de la machine :

1° Par introduction directe dans le local;
2° Par introduction dans ses parois.

III. Par passage de l'air sur ou dans des frigorifères intérieurs au local à refroidir :

1° Frigorifères à serpentins à dégivrage intermittent, air en circulation naturelle :

a Serpentins à courant de solution incongelable;
b Serpentins à courant de gaz liquéfiable.

2° Frigorifères à liquide incongelable divisé et nu :

a Refroidi extérieurement au local, air en circulation naturelle ou forcée;
b Refroidi dans le local même, air en circulation naturelle ou forcée.

IV. Par amenée en grandes masses, à températures modérées, d'air refroidi indirectement autour ou à l'intérieur de frigorifères extérieurs logés dans une chambre ou enveloppe froide voisine du local à refroidir.

1° Frigorifères à serpentins à dégivrage continu ou intermittent :

a Serpentins à courant de solution incongelable ou baignés par la solution froide, air en circulation naturelle ou forcée;
b Serpentins à courant de gaz liquéfiable, air en circulation naturelle ou forcée.

2° Frigorifères à liquide incongelable divisé et nu :

a Refroidi extérieurement à la chambre froide, air en circulation naturelle ou forcée;
b Refroidi dans la chambre froide, air en circulation naturelle ou forcée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces divers procédés, plus ou moins efficaces, plus ou moins économiques, sont employés indifféremment lorsqu'il s'agit d'obtenir de l'air froid sans qu'il y ait lieu de s'inquiéter de la proportion d'humidité contenue dans cet air et de son degré de pureté.

Il n'en est pas de même quand l'air refroidi doit être en même temps très sec, et dans un grand nombre d'applications, parmi lesquelles nous citerons en premier lieu la conservation des viandes, c'est là une des conditions essentielles de l'emploi du froid artificiel.

I. En général, le refroidissement par contact avec un amas de glace, extérieur ou non à la chambre à refroidir, procédé autrefois presque exclusivement employé dans les brasseries, est aujourd'hui à peu près abandonné, sauf dans les régions du Nord où les températures ambiantes sont basses et où de nombreux étangs fournissent d'énormes quantités de glace naturelle.

1° Ce procédé présente d'assez grands inconvénients; la glacière occupe souvent un emplacement assez considérable; la température obtenue dans les chambres n'est pas uniforme; la puissance frigorifique diminue au fur et à mesure de la fusion de la glace, les morceaux se soudant les uns aux autres sans laisser d'interstices entre eux pour la circulation de l'air à refroidir; et cette diminution se produit principalement pendant la période d'été au moment où l'échange de température doit atteindre son maximum d'intensité. Enfin l'air refroidi par la glace est saturé d'humidité et apte par suite à provoquer les altérations rapides de certaines matières conservées par le froid.

Pour éviter cette saturation de l'air par l'humidité de la glace, MM. Rouart frères ont imaginé, il y a quelques années (1883), de refroidir les chambres destinées à la conservation des denrées alimentaires et hermétiquement fermées, par rayonnement de parois de glace d'une nature particulière dont la fabrication est brevetée par eux. Ils ont remarqué, en effet, que si l'on gèle brusquement, en la mettant en contact avec une paroi métallique à très basse température (— 25 degrés au moins), de l'eau contenant 5 p. 100 de sel marin ou encore de l'eau de mer, il n'y a pas séparation absolue des éléments constitutifs de la dissolution et la glace spéciale ainsi formée constitue une sorte de mélange réfrigérant qui retient les sels primitivement dissous. Cette glace, au lieu de fondre à 0 degré comme la glace ordinaire, fond à une température sensiblement constante comprise entre — 3 et — 4 degrés. Si donc l'on enveloppe un local déterminé de moules de grandes dimensions remplis de blocs de 0 m. 10 d'épaisseur de glace de cette nature, cette paroi jouera le rôle d'accumulateur en maintenant une température d'environ — 3 degrés autour de l'enceinte pendant toute la durée de sa fusion, durée qui dépend de la nature et de l'épaisseur de la cloison isolante qui protège la paroi contre tout réchauffement extérieur. Le refroidissement est ainsi assuré sans qu'il soit nécessaire de faire fonctionner la machine autrement que pour reformer de temps à autre les pains de glace fondue. Ce procédé économique convient pour la production de froids modérés et dans le cas d'intermittences forcées de la marche de l'usine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II. 1° Les machines à air Giffard, Hall, etc., fournissent l'air froid directement aux locaux à refroidir par petites masses ou cylindrées, à températures très basses (jusqu'à — 80° C.), dont la densité facilite la dispersion et la circulation. Une simple conduite en bois à section rectangulaire, suspendue au sommet du local, distribue l'air détendu par de petites ouvertures à coulisses réglables ménagées dans ses parois. L'air réchauffé, plus ou moins chargé d'humidité, est repris par les branchements d'une conduite semblable placée à l'opposé de la première et mise en communication avec l'aspiration du compresseur. Cette installation est donc des plus simples et des moins coûteuses. Un spécimen en était réalisé par la Compagnie Sansinena au pavillon de la République Argentine.

On peut reprocher à ce système un certain manque d'uniformité de la température en tous les points des locaux par suite de la mauvaise répartition de l'air froid. C'est un défaut commun à tous les procédés dans lesquels l'air est amené en petites masses qui forment des traînées plus froides que le milieu qui les entoure.

De plus, il arrive fréquemment que, malgré les procédés perfectionnés adoptés pour le séchage de l'air avant ou après sa détente, malgré l'emploi de boîtes à neige (snow-boxes) placés sur le trajet de l'air froid avant son entrée dans les chambres, l'atmosphère des locaux refroidis est légèrement chargée d'humidité[1].

L'air sortant des conduites présente l'apparence d'une buée opaque; celle-ci tapisse les bords des orifices d'échappement et la face intérieure des parois des tuyaux d'une couche de givre qu'il est nécessaire d'enlever à des intervalles assez rapprochés. Le meilleur moyen de diminuer la production de la neige est de marcher à cycle fermé, la machine aspirant continuellement l'air échauffé et déjà sec des chambres pour le comprimer et le refroidir à nouveau.

2° Nous avons vu que dans le système Popp, qui comporte une injection d'eau pendant la compression, la proportion d'humidité renfermée dans l'air refroidi est encore plus considérable. L'air détendu est alors amené par une combinaison de tuyauteries, soit dans les chambres près du sol, soit simplement dans leurs parois qui sont à double enveloppe métallique, ou encore simultanément à l'intérieur et à l'extérieur des chambres quand il s'agit de produire de basses températures. Dans le second cas, il y a lieu de tenir compte de la déperdition de froid qui résulte de l'échange incomplet des températures opéré entre la chambre et sa paroi creuse.

L'air est distribué par un carneau central isolé qui peut être raccordé à volonté avec une chambre quelconque au moyen de registres. Un ventilateur placé dans ce carneau permet de l'aérer ainsi que les chambres. L'extrémité du carneau est munie de doubles portes commandées l'une par l'autre de façon qu'elles ne puissent jamais être ouvertes simultanément. La petite chambre jointe à l'exposition de la Compagnie Popp

[1] M. Lighfoot a constaté par des expériences précises que de l'air introduit complètement saturé dans la machine contient encore, après détente et au moment de son introduction dans les chambres, 4 p. 100 de son eau hygrométrique sous forme de vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

était refroidie par une amenée d'air direct détendu par une machine François et comprimé à distance par un compresseur de la Société Cockerill.

Le système de refroidissement des locaux par l'air comprimé et détendu continuera à s'imposer sur les navires destinés aux transports des viandes, malgré le rendement frigorifique peu élevé des machines à air. Celles-ci possèdent dans ce cas particulier de nombreux avantages; leur sécurité et leur simplicité sont plus grandes, leur encombrement est plus réduit, leur installation moins compliquée que celle des machines à compression. Leur fonctionnement ne dépend, en aucun cas, d'une provision de liquides chimiques, et il existe en général sur ces navires une force motrice imposante auprès de laquelle un excès de puissance de quelques chevaux absorbés par les appareils frigorifiques est insignifiante. D'ailleurs l'instabilité des niveaux semble s'opposer à l'adoption, dans ce cas, des machines à affinité, sinon des machines à gaz liquéfiables[1].

Ces considérations perdent énormément de leur valeur lorsqu'il s'agit d'installations fixes à terre où toutes facilités sont données en vue d'un approvisionnement suffisant de produits chimiques, où la question d'économie de force motrice entre en première ligne, alors que la question d'encombrement n'est le plus souvent qu'absolument secondaire. Les constructeurs et les industriels ont donc avec raison cherché à substituer aux machines à air, plus dispendieuses comme consommation de combustible, les machines à bases chimiques à rendement plus élevé.

III. Le gaz liquéfiable ne pouvant dans la plupart des cas être mis sans inconvénients graves au contact de l'air, on a dû recourir à l'emploi d'un intermédiaire, solution de chlorure de calcium, magnésium ou sodium, dont la teneur en sel est telle que son point de solidification est inférieur aux divers degrés de température nécessaires pour les besoins industriels. De là, la nécessité d'employer des organes accessoires de transmission du froid en général coûteux et assez compliqués.

1° *a*. Le procédé qui a reçu au début de l'industrie du froid les plus nombreuses applications, notamment dans les brasseries où il est aujourd'hui entièrement substitué à l'emploi de la glace, consiste à mettre l'air en contact avec une série de tuyaux en fer ordinaires, quelquefois galvanisés, formant un ou plusieurs serpentins dans lesquels s'effectue, sous l'action d'une pompe, une circulation énergique d'un liquide incongelable. Une masse constante de ce liquide, préalablement refroidie dans le congélateur entre — 6 et — 10 degrés, s'échauffe pendant son parcours dans les tubes et retourne au réfrigérant pour se refroidir à nouveau et parcourir le même cycle sans qu'il y ait diminution de son volume ou de sa densité. En général, l'intensité de la circulation est réglée de façon que l'écart des températures du liquide à sa sortie du réfrigérant et à sa rentrée dans la cuve soit de 6 ou 8 degrés.

[1] Des machines à acide carbonique Windhausen ont été installées tout récemment par la maison Hall sur plusieurs navires de la maison Nelson et C^ie^, importateurs de viandes à Londres. Les résultats obtenus sont jusqu'à ce jour satisfaisants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les tuyaux étant placés autant que possible près du plafond du local, les couches d'air immédiatement en contact avec eux se refroidissent et leur densité augmente. Il se produit alors une sorte de décantation en vertu de laquelle les couches froides tombent sur le sol, tandis que les couches inférieures encore chaudes refoulées viennent à leur tour se refroidir sur les serpentins. De cette circulation naturelle qui s'établit dans le local, il résulte qu'après un certain temps de fonctionnement, la température du milieu devient régulière et uniforme dans toutes ses parties.

Le volume de liquide assez considérable, accumulé dans les serpentins, joue, au moment des arrêts de la machine, le rôle d'un volant de froid qui combat pendant quelques jours le relèvement de la température.

En même temps, la vapeur d'eau en suspension dans l'air se condense en majeure partie sur les tuyaux sous forme de givre, l'air restant saturé de vapeur à la tension correspondante à la température des chambres. La vapeur d'eau condensée entraîne avec elle tous les miasmes et impuretés que l'air renferme; l'atmosphère s'assainit et se dessèche à la fois.

La température des locaux est réglable à volonté au moyen d'un simple robinet diminuant ou augmentant la quantité de liquide en circulation. Aucune trace d'acide sulfureux ou d'ammoniac ne peut pénétrer dans les salles, puisque ce n'est que le bain qui y circule et encore dans des tuyaux complètement étanches; il n'y a donc aucun danger d'incendie ou d'explosion.

Ce système, dont la construction est simple, l'installation et la conduite faciles, la docilité parfaite, ne demande aucune main-d'œuvre et son exploitation est plus économique que l'emploi de la glace naturelle.

Il constitue le meilleur véhicule du froid pour le refroidissement, à une température moyenne et sans perte appréciable, de locaux situés à une grande distance des machines. Il tend à se répandre de plus en plus dans les brasseries. Certaines caves et même quelques entrepôts de denrées alimentaires contiennent plusieurs kilomètres de serpentins semblables. Ces installations ont, en revanche, l'inconvénient d'être assez coûteuses.

La chambre froide, installée par la Compagnie Pictet, était précisément un spécimen d'installation de serpentins pour le refroidissement à + 2 degrés d'une cave de brasserie à fermentation basse.

Parmi les autres inconvénients de ce système, il faut signaler l'emploi d'un corps intermédiaire entre le gaz liquéfié et l'air à refroidir, circonstance qui diminue d'autant l'effet frigorifique final obtenu et nécessite la mise en circulation de volumes de liquide considérables ainsi que la mise en œuvre d'une pompe.

b. M. Schmitz, de concert avec ses constructeurs, MM. Rouart frères, a apporté à ce système une très importante simplification qui consiste à faire circuler dans les serpentins, non plus le liquide incongelable qui devient un intermédiaire inutile et coûteux,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais bien le gaz ammoniac détendu lui-même, c'est-à-dire à placer le congélateur dans les chambres à refroidir. Ce procédé, breveté en 1884, a été depuis appliqué avec succès. Les tuyaux, à joints vissés et soudés et résistant à une pression de 75 atmosphères, forment une sorte de grille suspendue au plafond de la salle. L'une des extrémités de chacun d'eux se relie à un collecteur muni d'un distributeur sensible qui règle l'entrée du gaz liquéfié suivant le degré de température à obtenir; la seconde extrémité aboutit à un deuxième collecteur qui ramène le gaz détendu à l'aspiration du compresseur ou au congélateur où l'excès de froid encore disponible peut être utilisé pour la fabrication de la glace. La même masse gazeuse, successivement comprimée et détendue, peut servir indéfiniment.

Ce système permet d'obtenir des froids plus intenses avec une surface rayonnante de tuyaux beaucoup moindre et sans pompe de circulation; il est, par suite, plus économique que le système précédent, les pertes par rayonnement étant d'ailleurs toutes au profit de l'abaissement de la température des chambres.

Il est appliqué aujourd'hui par de nombreux constructeurs. M. Lavergne, en Amérique, MM. Imbert frères, en France, l'ont encore amélioré en substituant aux tuyaux à surface lisse des tuyaux à ailettes rapportées en fer ou en fonte. Ces tuyaux coûtent un peu plus cher, mais ils présentent l'avantage capital de favoriser d'une façon très marquée l'échange de températures entre l'air et l'agent frigorifique par suite de l'augmentation considérable des surfaces de contact. Les tuyauteries à ailettes en fonte employées par MM. Imbert frères dans l'entrepôt de Saint-Chamond offrent une conductibilité plus grande que les tuyaux à ailettes de fer.

Dans les deux systèmes, circulation de liquide incongelable ou de gaz détendu, le mouvement et le renouvellement de l'air peuvent être augmentés, s'il est nécessaire, à l'aide de ventilateurs tournant à une vitesse modérée.

MM. Sulzer frères ont exposé en 1889 un exemple de ce système de refroidissement très simple dans une petite chambre divisée en deux compartiments et destinée à la conservation des viandes. Deux serpentins étaient placés verticalement à l'une des extrémités de la chambre; ces serpentins ne comportant aucun joint intérieur, il n'existait aucune possibilité de fuite dans le local. Un petit ventilateur, ou plutôt une simple hélice sans enveloppe, entretenait simplement le mélange de l'air chaud et de l'air froid et leur passage régulier sur les serpentins, sans l'emploi de conduites de distribution.

Mais dans tous ces procédés, le dépôt de givre sur les surfaces refroidissantes en fonctionnement s'oppose toujours à l'échange aussi complet que possible des températures. Si la salle reste fermée, la couche déposée est très mince, la même atmosphère étant tour à tour échauffée et refroidie. Si au contraire, pour des raisons quelconques, l'air est fréquemment renouvelé et s'il est chargé de vapeur d'eau, l'épaisseur de la couche mauvaise conductrice peut devenir assez considérable pour former un obstacle puissant à la transmission du froid par les parois métalliques dont elle diminue la conductibilité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le dégivrement des tubes d'une façon continue, à des intervalles rapprochés, est donc une opération absolument indispensable si l'on veut bénéficier de tout le froid produit par la machine et obtenir un rendement satisfaisant.

Pour les tuyauteries logées à l'intérieur même des chambres le dégivrage est intermittent. Il peut se faire de plusieurs façons : soit en interrompant momentanément la circulation du liquide ou du gaz dans les tuyaux, si la longueur de ceux-ci est relativement limitée, soit en faisant passer un courant d'air chaud ou de vapeur, si la longueur des tuyaux est considérable. Ces deux procédés sont peu rapides et peu économiques, surtout quand la longueur des tuyauteries dépasse plusieurs kilomètres, car le dégel ne peut se produire que grâce à un échauffement progressif de l'air du local.

MM. Sulzer ont appliqué à leur installation de l'Exposition un procédé de M. Linde, aussi simple qu'ingénieux, de dégivrage complet et immédiat des serpentins refroidisseurs. Cette opération, qui peut être répétée aussi souvent qu'on le désire, consiste en une simple manœuvre de robinets et ne dure que quelques secondes. Il suffit de faire communiquer le tuyau de refoulement du compresseur avec les serpentins réfrigérants de la chambre qui fonctionnent alors comme condenseurs. Les vapeurs ammoniacales tièdes déterminent le dégel du givre et retournent à l'aspiration; une manœuvre inverse des robinets rétablit les circulations dans leur sens primitif.

Avec ce système, on est assuré d'avoir des serpentins peu givrés produisant leur plein effet. Ce dispositif a été très remarqué.

Le dégivrage des tubes par ces moyens, ou un dégivrage accidentel dû à un arrêt des machines, a pour effet, non seulement de relever la température du local, circonstance contraire au but que l'on se propose, mais encore d'y ramener l'humidité qui avait été enlevée à l'air et avec elle tous les ferments et impuretés précédemment emprisonnés sur les surfaces métalliques.

Il est donc important de placer au-dessous des serpentins des gouttières destinées à recueillir et à évacuer au dehors l'eau provenant de la fonte du givre. Dans le même but, les tuyaux à ailettes de MM. Imbert frères sont disposés sur un faux toit suspendu lui-même au plafond de la chambre et dont les deux pans sont pourvus de rigoles d'évacuation.

Dans les entrepôts de conservation des viandes installés aux États-Unis, les tuyauteries d'ammoniac ou de chlorure sont disposées le long des parois verticales de façon à éviter la chute du givre sur les denrées conservées.

Mais, dans certains cas, la saturation momentanée de l'atmosphère de la chambre pendant la période de dégivrage suffit pour déterminer l'altération plus ou moins rapide des matières qui ne peuvent être conservées que par le froid sec.

Aussi, le système de refroidissement des salles par serpentins intérieurs [1] est-il, à

[1] Cette restriction ne s'applique pas au dernier système Linde qui, à cause du dégivrage rapide et fréquent des serpentins, peut maintenir les chambres refroidies parfaitement sèches.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cause des difficultés que présente le dégivrage, de plus en plus abandonné par les constructeurs, sauf dans les brasseries, chocolateries, etc., où la présence de l'humidité ne peut entraîner de fermentations nuisibles.

IV. Dans tous les autres cas, les tuyauteries sont établies dans un local spécial situé au-dessus des locaux à refroidir ou dans une simple caisse en bois ou en métal à parois isolées contiguë à ces locaux.

1° *a*. Le premier système est adopté par la Compagnie Pictet, d'après le procédé de M. Schroeder, qui consiste « à envoyer d'un foyer central supérieur, ou chambre froide, de l'air froid et sec, sans le secours mécanique d'aucun ventilateur, dans les locaux à refroidir et à faire remonter l'air chaud et humide de ces locaux dans la chambre froide pour le refroidir, le sécher et lui faire recommencer sa course. De cette manière, la question du froid sec et de la ventilation naturelle se trouve résolue. »

Pour faciliter la formation du courant d'air chaud et d'air froid, chaque faisceau tubulaire est placé dans le sens de la hauteur du local, sa largeur étant trois fois moindre que sa hauteur. L'ensemble est porté à chaque extrémité sur des traverses et des montants en fer formant étagères et scellés dans le sol. L'entrée et la sortie de chaque faisceau sont branchées sur des collecteurs, l'un supérieur d'amenée, l'autre inférieur de retour du liquide incongelable (chlorure de magnésium).

Pour éviter la formation de couches de givre trop compactes, chaque serpentin est muni d'une vanne d'arrêt qui permet d'arrêter la circulation du liquide dans celui-ci pendant que les autres continuent de fonctionner. Le givre se détache et tombe sur le sol asphalté de la chambre froide pour être évacué au dehors par une tuyauterie spéciale ou une canalisation convenable.

L'air refroidi au contact des tuyaux descend du premier étage dans les salles à refroidir par des trappes ménagées dans le plafond; l'air chaud remonte par des cheminées ménagées dans l'épaisseur des murs et débouche à la partie supérieure de la chambre froide au contact des tubes les plus froids [1].

Ce système, simple d'installation, assure la siccité de l'air ambiant, mais les tuyauteries sont longues et coûteuses et l'effet frigorifique assez limité.

Dans le cas de l'emploi de frigorifères en bois ou métalliques contigus aux salles à refroidir, l'air des salles, aspiré dans un tuyau d'aspiration situé près du plafond, vient lécher la surface des serpentins au contact desquels il se refroidit en se dépouillant de son humidité avant d'être refoulé par une série de canaux disposés soit dans le plancher, soit sur les parois du local. Un ventilateur devient nécessaire pour assurer la circulation de l'air dans ces canaux.

[1] Certains constructeurs font circuler le gaz anhydre directement dans les serpentins de la chambre froide et entraînent le givre déposé sur ces serpentins à l'aide d'une pluie de chlorure qui retourne au congélateur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En raison de la différence des densités et de l'aspiration qui se produit en haut du local, l'air froid s'élève graduellement de façon à produire un renouvellement complet et successif des couches d'air supérieures à températures plus élevées et à établir l'équilibre des températures.

L'amenée et l'aspiration de l'air se font, comme dans le cas des machines à air comprimé, en un point déterminé, au moyen de conduites en bois ou en tôle de faibles dimensions et beaucoup moins coûteuses à établir et à entretenir que les serpentins métalliques. En général, une prise spéciale permet d'aspirer de l'air frais au dehors et de renouveler l'atmosphère du local quand elle paraît viciée. Pendant l'opération du dégivrage, toute communication de la chambre froide avec les salles à refroidir peut être interrompue de façon à n'entraîner ni réchauffement, ni humidité dans ces dernières.

Les serpentins sont à circulation de chlorure ou de gaz liquéfié.

b. Ce dernier système, appliqué par MM. Imbert frères à l'usine de Saint-Chamond et par la Société Linde dans différentes applications déjà anciennes, donne des résultats satisfaisants, mais le serpentin refroidisseur est unique et son dégivrage intermittent ne peut se faire que par un arrêt de la circulation d'ammoniac et du fonctionnement de l'appareil.

M. Fixary a imaginé, en 1877, un appareil de transmission du froid qu'il a dénommé «frigorifère» et qui a pour objet de faire disparaître tous les inconvénients signalés plus haut et inhérents à la formation du givre, en faisant concourir celui-ci au refroidissement de l'air et en opérant un dégivrage méthodique.

Cet appareil se compose essentiellement de trois (ou plus) serpentins enfermés dans autant de compartiments d'une caisse en tôle et bois placée presque horizontalement, contiguë à la chambre et prolongée par un ventilateur. Deux des serpentins d'égales longueurs occupent la moitié supérieure du coffre; le troisième, à surface plus étendue, est logé dans la moitié inférieure.

Le gaz ammoniac liquéfié est amené à travers un détendeur à des robinets disposés de façon à faire passer le gaz détendu à volonté dans l'un ou plusieurs des serpentins. Soient B et C les serpentins parcourus par l'ammoniac. L'air aspiré par le ventilateur circule dans le compartiment A′ autour du serpentin inactif A, puis dans les compartiments B′ et C′ sur lesquels il est dirigé par un jeu de vannes, se refroidit au contact des serpentins actifs, et enfin est refoulé dans les salles à refroidir.

Dès que le serpentin B est couvert de givre, on renverse simultanément les positions des robinets d'introduction de l'ammoniac et celles des vannes, de manière à faire passer le gaz seulement dans le serpentin A non givré et changer le sens du courant d'air en l'amenant de B′ en A′, puis de A′ à C′ pour le lancer dans la chambre refroidie.

Lorsque A s'est à son tour couvert de givre, on ramène les organes dans leur position primitive et ainsi de suite, de sorte que l'air chaud, amené d'abord sur le ser-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pentin inactif couvert de givre, commence à se refroidir en fondant ce givre, puis continue son refroidissement en passant sur les serpentins actifs dont la surface est à nu. Le dégivrement des serpentins et l'évacuation de l'eau de fusion par un purgeur s'effectuent sans aucune interruption du fonctionnement de l'appareil.

Dans le serpentin inférieur, la détente du gaz agit d'une façon constante. L'air en circulation, après avoir déposé presque toute son humidité et s'être débarrassé de ses impuretés sur la surface de l'un des deux premiers serpentins, arrive déjà sec et à une température de 3 à 4 degrés au-dessous de zéro sur ce troisième serpentin où il achève de se refroidir à plus basse température en formant une couche de givre d'épaisseur extrêmement réduite.

Lorsque l'air de la chambre a abandonné à l'échangeur toute son humidité, on peut admettre une circulation simultanée de gaz détendu dans les trois serpentins et augmenter ainsi l'étendue des surfaces réfrigérantes en activité.

Le dégivrement des serpentins au moyen de l'air aspiré n'est plus possible quand on refroidit à 10 ou 15 degrés au-dessous de zéro des chambres destinées par exemple à la congélation des viandes, parce que la température de cet air est trop basse pour déterminer la fusion du givre.

Dans ce cas et aussi lorsque le serpentin inférieur s'est givré après une marche d'assez longue durée, la Société Fixary a recours à l'artifice ingénieux indiqué par MM. Sulzer frères. Au moyen des vannes, on suspend momentanément la circulation de l'air sur les serpentins givrés et l'on fait passer dans ceux-ci une dérivation de gaz chaud pris au refoulement du compresseur.

Dans le système Fixary (Halles de Bruxelles), l'air froid est amené près du plafond des locaux par une conduite principale à section carrée dont les parois, garnies intérieurement de tôle et épaisses de 0 m. 120, sont constituées par une double enveloppe de bois comprenant un matelas de sciure. Sur cette conduite sont branchés perpendiculairement des tuyaux secondaires de distribution d'air froid en tôle galvanisée et à section circulaire. Ces tuyaux sont parallèles et alternent avec les tuyaux de retour constitués de la même façon et branchés également sur un collecteur en bois qui ramène l'air échauffé à l'aspiration du ventilateur. L'arrivée de l'air et son évacuation sont réglables à l'aide de trappes à coulisses.

Le frigorifère Fixary, comme les précédents, permet d'assurer le refroidissement de masses d'air considérables à des températures moyennement basses comprises entre des limites très éloignées descendant jusqu'à — 15 degrés. Il a reçu pendant ces dernières années quelques applications intéressantes qui ont mis en lumière la simplicité de son fonctionnement.

Mais ce mode de dégivrage ne peut être méthodique qu'à la condition de mettre en œuvre une surface de serpentins au moins double de celle qui serait théoriquement nécessaire pour produire l'effet frigorifique cherché; l'installation est donc relativement coûteuse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De plus, l'intermittence du dégivrage présente certains inconvénients, en ce sens que la quantité de froid transmise par la surface totale des serpentins dans un temps donné n'est nullement régulière, car elle dépend surtout de l'état de leurs surfaces bien plus que de la conductibilité propre de la paroi. Elle est maxima chaque fois que le givre a disparu; elle diminue à mesure que l'épaisseur du givre augmente, pour devenir nulle et même négative pendant la fusion de la glace si l'appareil est à serpentin unique. Avec le serpentin double, l'inconvénient est atténué, mais les alternatives de fonctionnement de chaque serpentin doivent être très rapprochées si l'on veut conserver aux surfaces un degré de conductibilité suffisamment élevé.

Dans ses premiers appareils, combinés en 1876, qui comportaient des serpentins de forme cylindrique, M. Fixary obtenait un dégivrage mécanique et continu au moyen de brosses ou raclettes tournantes. MM. Rouart frères ont appliqué tout récemment un système analogue à un échangeur composé de deux cuves cylindriques montées concentriquement sur un arbre horizontal. La cuve extérieure est fixe et isolée au moyen d'une enveloppe de bois renfermant une matière isolante quelconque. Le tambour intérieur est au contraire animé d'un mouvement de rotation. Il est rempli comme un congélateur ordinaire par un liquide incongelable, baignant des serpentins dans lesquels se détend l'ammoniac liquéfié dont l'arrivée et la sortie se font par les deux extrémités de l'axe de l'arbre de rotation. La paroi de ce cylindre intérieur est donc refroidie à basse température. L'intervalle existant entre les deux enveloppes est aussi resserré que possible et parcouru par une mince lame d'air injectée par un ventilateur. L'eau d'hydratation se dépose en givre sur la paroi froide; on l'enlève d'une façon continue en amenant au contact de la surface latérale du cylindre tournant un couteau qui rabote le givre sur toute la longueur d'une génératrice. Ce couteau incliné traverse la paroi du premier cylindre, interrompue sur une portion de sa surface; il est creux, et à l'intérieur passe un petit filet de vapeur qui fond le givre au fur et à mesure de sa production. L'eau de fusion s'écoule le long du couteau; elle est recueillie dans une gouttière fixée sur l'enveloppe extérieure qui l'expulse au dehors par un robinet. Une petite porte, ménagée dans l'enveloppe en bois, permet de visiter le couteau et la gouttière. Le cylindre extérieur est muni intérieurement de chicanes qui brassent le courant d'air et prolongent la durée de son contact avec la paroi à refroidir. Il est à craindre que l'emploi du jet de vapeur dans une enveloppe étanche ne contribue au réchauffement partiel de l'air.

MM. Douane et Jobin construisent dans le même but un appareil imaginé par M. Baldauff et employé à l'entrepôt de Tunis. Il se compose d'un caisson horizontal en bois et tôle renfermant deux serpentins en cuivre étiré, plus conducteur que le fer, dont les coudes sont brasés de façon qu'il n'y ait aucun joint dans l'espace où circule l'air. Le chlorure de méthyle circule directement dans l'appareil. Les serpentins sont supportés par des panneaux en bois qui servent en même temps de chicanes pour la circulation de l'air refoulé par un ventilateur au bas du caisson. Au-dessous d'eux sont placées des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bassines qui recueillent l'eau de fusion et l'évacuent par de petits tuyaux placés latéralement.

Les panneaux en bois limitent des travées égales qui sont parcourues par le système dégivreur. Celui-ci se compose de cadres en cornières reliées d'une travée à l'autre par des tringles de façon à former un tout complet. Chaque cadre porte un galet qui roule sur un rail placé au sommet du caisson, tandis qu'un simple fer plat guide la partie basse. Entre les cornières sont placés des frotteurs en laiton qui sont montés par paires et affectent la forme d'une double équerre. Chaque paire embrasse complètement la circonférence d'un tube sur laquelle elle glisse à frottement légèrement dur. L'ensemble du cadre des frotteurs reçoit le mouvement de va-et-vient transmis par un mécanisme extérieur à treuil et contrepoids.

Ce système, de date récente, n'a pas encore reçu d'applications assez nombreuses pour qu'il soit possible de formuler d'appréciation bien nette sur la valeur pratique de son fonctionnement.

Dans le frigorifère de Chambers, appliqué aux Victoria Docks de Londres, ce n'est plus le liquide réfrigérant qui circule dans les tubes, plongés dans l'air à refroidir, mais, au contraire, l'air qui circule dans des tubes en cuivre, en forme d'U renversé, et logés dans une sorte de cloche où circule un bain incongelable de chlorure de magnésium. Le frigorifère se compose de plusieurs appareils de ce genre juxtaposés; l'air chaud dépose son givre dans le premier et achève de se refroidir dans les autres. Le dégivrage se produit au moyen d'une chasse d'air chaud ou de vapeur dirigée au moyen de vannes en sens inverse de la circulation de l'air.

Si les frigorifères extérieurs offrent l'avantage de supprimer toute cause d'humidité dans les locaux à refroidir et d'en maintenir l'atmosphère en parfait état de sécheresse, ils présentent, en revanche, comparés aux frigorifères à serpentins logés dans les salles à refroidir ou dans des chambres froides, quelques inconvénients.

L'appareil étant extérieur aux chambres, toutes les pertes par rayonnement (ou toute autre cause) de l'échangeur et des conduites qui le relient aux chambres sont des pertes réelles. La mise en mouvement de quantités d'air considérables exige l'emploi de ventilateurs puissants dont le fonctionnement entraîne une dépense de force motrice, et de plus ces ventilateurs, pour faire circuler l'air dans des conduites généralement longues et étroites présentant plus ou moins de coudes, doivent le comprimer et par suite le réchauffer d'un certain nombre de degrés. En troisième lieu, ces conduites sont coûteuses et les frottements qui s'y produisent, ainsi qu'à l'intérieur du ventilateur, entraînent un nouveau réchauffement de l'air (0 cal. 10 par mètre carré). Enfin, comme l'action du ventilateur détermine une certaine pression dans les chambres, à chaque ouverture de portes et par chaque fissure des parois l'air s'échappe en quantités appréciables.

Enfin, d'une manière générale, si l'on tient compte de la mauvaise conductibilité de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'air et de sa faible chaleur spécifique, l'on conçoit que la méthode de refroidissement par le rayonnement d'un liquide froid à travers des surfaces métalliques, serpentins ou cylindres, soit peu économique et peu rapide. En effet, la couche d'air qui se trouve au contact des surfaces métalliques seule se refroidit, et par suite il est nécessaire de donner un développement énorme à ces surfaces si l'effet frigorifique à produire doit avoir une certaine intensité.

Toutes ces causes réunies rendent l'échange des températures peu énergique et diminuent le rendement frigorifique des appareils.

Ces diverses considérations ont engagé un certain nombre d'expérimentateurs à chercher une solution plus satisfaisante en opérant une sorte de filtration directe de l'air à travers le liquide froid, c'est-à-dire en supprimant toutes les surfaces coûteuses qui, dans les systèmes précédents, séparent le liquide froid et l'air à refroidir.

Le résultat des études faites dans cette voie constitue l'un des progrès les plus marquants de l'industrie du froid artificiel dans ces dernières années.

IV. — 2° Dès l'année 1875, MM. Mignon et Rouart, que l'on doit considérer comme les premiers vulgarisateurs de l'emploi du froid en France, faisaient connaître dans une note à l'Académie des sciences le résultat des expériences entreprises par eux dans cette voie.

Ils démontraient : 1° qu'il suffit, pour refroidir, dessécher et purifier l'air, de le mettre en contact intime pendant un temps très court avec un liquide hygrométrique à basse température tel que le chlorure de calcium; 2° qu'en doublant la vitesse de l'écoulement de l'air, on ne divise pas par deux la durée de contact du liquide et du gaz; cette durée semble résulter uniquement de la vitesse que prend le gaz en traversant la couche liquide en vertu de la différence des densités et qui reste sensiblement constante; 3° qu'en diminuant très notablement la vitesse d'écoulement, l'abaissement de température diminue à cause des pertes considérables qui se produisent par le rayonnement.

a. Cette méthode a été employée avec succès par MM. Mignon et Rouart (mai 1875) à la Manufacture royale de bougies d'Amsterdam. L'appareil refroidisseur se compose d'un grand cylindre vertical parfaitement isolé et muni d'un axe central sur lequel sont montés des plateaux tournants, passant dans l'intervalle de disques annulaires fixés aux parois du cylindre. Si l'on fait passer du liquide froid sur le plateau supérieur, la force centrifuge le projette contre les parois du cylindre. Il tombe en pluie sur le disque fixe situé au-dessous du premier plateau et ce disque le ramène sur le second plateau où il subit une nouvelle dispersion et ainsi de suite. Il se produit de cette façon une cascade continue de liquide très divisé. L'air refoulé par un ventilateur parcourt l'appareil de bas en haut; la rapidité de l'échange des températures est remarquable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est bien évident d'ailleurs qu'il n'y a pas intérêt à renouveler l'air du local d'une façon continue, car l'air expulsé entraînerait avec lui dans l'atmosphère la plus grande partie des frigories enlevées au liquide; en un mot, il y a lieu de travailler à cycle fermé, la même masse d'air restant en circulation.

Malgré les craintes que pouvait faire concevoir l'emploi direct d'un liquide pour le refroidissement de l'air, il est absolument démontré, par l'expérience, qu'aucune humidité n'est communiquée à ce dernier. Au contraire, la tension des vapeurs de chlorure est très faible et ce sel est très avide d'eau; il en résulte que toute la vapeur en suspension dans l'air est absorbée; la solution subit un affaiblissement de degré et il est nécessaire de la concentrer. Cette obligation constitue, croyons-nous, le seul inconvénient de ce système.

L'installation précédente ainsi que celle de la Morgue, exécutée par les mêmes constsucteurs en 1882, ont été le point de départ de nombreuses applications de la méthode aussi rationnelle qu'économique exposée plus haut.

A la Morgue, la solution incongelable se rend dans un chéneau placé sur la crête d'un faux toit installé sur toute la longueur de la salle d'exposition.

Ce faux toit est composé de lamelles en tôle disposées en gradins et inclinées sur lesquelles le liquide s'écoule en nappe mince; il retombe dans des gouttières qui le ramènent à une conduite reliée au réfrigérant. La siccité de l'air est prouvée par ce fait que certains corps ont pu être conservés sans altération pendant plus de deux années.

On remarquera que dans cette installation le refroidisseur est plongé dans l'atmosphère même à refroidir et qu'à cause du développement relativement grand de la surface refroidissante, le refroidissement peut être direct sans nécessiter le concours d'un ventilateur.

MM. Mignon et Rouart ont apporté une amélioration à ce système : 1° en remplaçant le faux toit assez coûteux par des toiles métalliques à mailles plus ou moins serrées qui présentent une surface d'échange considérable sous un volume plus restreint; 2° en augmentant la division du liquide. Ces toiles sont disposées verticalement le long des parois des espaces à refroidir. Le chlorure est distribué par un chéneau sur l'arête supérieure des toiles, s'écoule sur les mailles en se subdivisant en gouttelettes fines avec lesquelles l'air de la chambre, tout en se desséchant, échange presque instantanément sa température. De plus, les germes et les impuretés sont entraînés avec le premier dépôt de vapeur d'eau. Dans des circonstances favorables, un mètre carré de surface de toile métallique peut échanger 1,000 calories à l'heure. Tous les inconvénients du dégivrage à l'extérieur des chambres disparaissent par l'emploi de ce procédé.

Ces diverses méthodes ont donné lieu depuis une dizaine d'années à des solutions variées et intéressantes.

Le système de refroidissement de l'air, avec ou sans ventilateur, par une pluie de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chlorure froid a été appliqué par M. Schroeder (Cie Pictet), à Genève et MM. Linde et Osenbrück, en Allemagne.

Dans le procédé Schroeder, les appareils sont installés dans une chambre froide située au-dessus des locaux à refroidir. Ils consistent en une série de bacs en tôle à fond perforé (trous de 3 centimètres de diamètre, espacés de 50 millimètres) qui reçoivent le liquide froid d'un nombre égal de tuyaux distributeurs placés à un niveau supérieur. Le liquide qui s'échappe en pluie par les orifices des bacs tombe d'une hauteur de 1 m. 50 sur des réservoirs qui le recueillent et le déversent dans un tuyau collecteur aboutissant à la cuve du réfrigérant. Le départ du liquide hors de ces réservoirs se fait à un niveau tel qu'une couche de 10 centimètres de la solution froide reste en permanence au fond de chacun d'eux. L'air des salles amené par des cheminées pratiquées dans les murs ou en saillie sur eux arrive au sommet de la chambre froide, se refroidit au contact de la pluie de liquide et redescend dans les salles par des ouvertures ménagées dans le plafond. La circulation est naturelle; l'intensité du refroidissement peut être modérée ou activée par le réglage des robinets de distribution du liquide et par celui des vannes des orifices d'entrée et de sortie de l'air.

M. Osenbrück refroidit les salles de l'entrepôt frigorifique de Brême en faisant circuler l'air refoulé par un ventilateur à la vitesse de 3 mètres à l'heure le long d'une hélice renfermée dans un cylindre vertical et sur laquelle coule lentement la dissolution froide.

L'appareil Linde reproduit en partie la disposition du refroidisseur d'Amsterdam. C'est une caisse rectangulaire dont le fond incliné reçoit en permanence une certaine couche de chlorure. Cette caisse est divisée en trois compartiments; le premier est pourvu sur toute sa hauteur d'une série de gradins sur lesquels coule la solution. Les deux autres, garnis de chicanes, forcent l'air à circuler au contact de l'eau salée et à se débarrasser du reste de son humidité. L'air est refoulé par un ventilateur à la base de l'appareil, traverse la pluie de chlorure et s'échappe en haut du troisième compartiment.

b. Un nouvel appareil a été imaginé plus récemment encore par M. Linde et appliqué dans quelques entrepôts frigorifiques, notamment dans les docks de la Mersey, à Liverpool. Il est constitué de la façon suivante.

Un long réservoir horizontal en tôle renferme à sa partie inférieure le faisceau de tubes évaporateurs d'ammoniac qui est baigné par une solution incongelable. Au-dessus est disposée une série d'appareils refroidisseurs composés chacun d'un certain nombre de disques verticaux en tôle montés sur un arbre horizontal placé perpendiculairement à l'axe du réservoir; la moitié inférieure de ces disques plonge dans le liquide froid. Un ventilateur placé à l'une des extrémités du réservoir aspire l'air chaud des salles à refroidir et le refoule sur les disques qui sont animés d'un mouvement de rotation assez lent et constamment recouverts par une couche mince de liquide froid

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

renouvelée d'une façon continue et au contact de laquelle l'air, divisé en lames par les disques, se refroidit et se dessèche. L'air sortant du réservoir rentre dans des canaux en bois qui le distribuent aux salles par des ouvertures à vannes mobiles. L'expérience a fait reconnaître qu'en marche normale, il est nécessaire de renouveler l'air six à huit fois par heure. Les résultats obtenus à Liverpool paraissent donner toute satisfaction.

Les dispositifs du même genre imaginés par M. Linde sont d'ailleurs très variés. Les disques peuvent être remplacés par une série de cylindres concentriques dont l'axe de rotation est situé sur le prolongement de celui du ventilateur. Ces cylindres sont alternativement à parois pleines et à parois formées de toiles métalliques. Le liquide est entraîné par ces toiles au contact desquelles l'air refoulé par le ventilateur se refroidit rapidement.

Dans d'autres cas, le cylindre affecte la forme d'une roue dont les aubes planes parallèles à l'axe de rotation plongent dans le liquide qu'elles remontent au-dessus du niveau du réservoir pour le laisser retomber ensuite en cascade. Enfin, M. Linde a employé également comme réservoir un cylindre rotatif garni intérieurement de disques pleins ou grillagés qui s'imbibent de liquide et qui ont pour effet de pousser aussi loin que possible la division du liquide en gouttelettes et celle de l'air en veines de faible épaisseur. Le passage de l'air dans ce cylindre est retardé par des chicanes circulaires qui alternent avec les disques. Cette dernière solution semble très satisfaisante.

III. 2° *a*. MM. Rouart frères ont également obtenu de bons résultats en faisant arriver l'air à refroidir dans une série de conduites en tôle étamée, percées de trous suivant leur génératrice inférieure et plongeant de 10 à 15 millimètres dans le liquide froid. Ce liquide circule en couche mince dans des gouttières suspendues au plafond de la chambre à refroidir et placées au-dessous des conduites qu'elles embrassent sur les trois quarts de la circonférence. L'air, refoulé par un ventilateur, s'échappe par les orifices des tuyaux et traverse le liquide dans lequel il se refroidit par barbotage. Certaines précautions sont à prendre pour éviter la chute dans la chambre des gouttelettes de liquide projetées par l'air en mouvement. De plus, l'air s'échappant avec une trop grande pression au débouché des orifices refoulerait le liquide en formant autour de la conduite une veine gazeuse qui se répandrait dans les chambres sans traverser le liquide avec lequel elle ne serait en contact que par sa surface extérieure; l'échange des températures serait incomplet. Il semble donc indispensable de ne donner à l'air qu'une vitesse modérée dans les conduites.

b. L'effet frigorifique de ce système peut être augmenté en répartissant les serpentins évaporateurs d'ammoniac dans les gouttières mêmes où ils sont baignés par le liquide; le congélateur ordinaire est supprimé. Toutes les pertes par rayonnement ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autres de l'appareil producteur et transmetteur du froid profitent dans ce cas au refroidissement de la chambre [1].

Parmi les frigorifères à liquide divisé et nu, ceux qui nécessitent des ventilateurs participent aux inconvénients des frigorifères à serpentins avec circulation d'air forcé : dépense plus grande de force motrice, réchauffement de l'air dans les conduites, etc.

Nous avons dit également que le plus grave inconvénient de ce système était la nécessité de reconcentrer de temps à autre la solution de chlorure appauvrie par l'absorption de l'humidité de l'air. Cette dilution du bain se manifeste d'une façon très rapide dans toute installation où l'abaissement de la température provoque une évaporation de la matière soumise à l'action du froid, où les matières sont chargées d'humidité et où l'air extérieur est aspiré fréquemment dans les chambres, soit pour remplacer l'air vicié, soit par suite de l'ouverture répétée des portes. A l'entrepôt de Genève, par exemple, où les viandes sont conservées au-dessus de zéro degré, cette dilution est telle que le volume du bain augmente de 1,000 litres en l'espace de quinze jours.

Dans ces conditions, l'entretien du bain est une véritable sujétion et une opération coûteuse qui, dans bien des cas, fait rejeter l'emploi des systèmes de refroidissement par contact de l'air et du liquide refroidi. Il semblerait possible cependant, dans les usines qui disposent de vapeur, de réaliser assez facilement et rapidement la concentration du bain par l'emploi d'une bâche recevant le trop-plein du réfrigérant qui y serait chauffé par un serpentin à courant de vapeur, concentré et rendu après refroidissement à la circulation.

Cet inconvénient perd de sa gravité lorsqu'il s'agit de refroidir des locaux où l'afflux journalier d'air extérieur est à peu près nul et où la circulation d'air constitue un cycle fermé de la chambre au frigorifère et *vice versa*. Dans ce cas, qui est par exemple celui des locaux de conservation à long terme, l'air qui s'est desséché pendant son précédent contact avec le bain froid revient au frigorifère chargé seulement de toute l'humidité qu'il a pu enlever aux matières en conservation, et cela jusqu'à ce que, au bout de quelques heures ou de quelques jours, l'équilibre de température s'étant établi, toute émission de vapeur ait cessé à l'intérieur de la chambre. Il suffit dans ce cas d'employer à la mise en marche une solution aussi concentrée que possible pour que le degré de dilution incompatible avec l'économie ou la sécurité du fonctionnement ne soit atteint qu'à très longue échéance.

[1] Nous croyons devoir signaler ici un appareil du même genre imaginé en 1889-1890, par M. Schlœsing, membre de l'Institut, pour la congélation des viandes. L'appareil échangeur consiste en une tourelle remplie de fragments de coke et logée dans l'enceinte même à refroidir qui peut être aussi une chambre cylindrique. Le coke est arrosé par une pluie de liquide froid circulant d'une façon continue entre le congélateur et la tourelle. L'air est aspiré par un ventilateur installé au sommet de la tourelle, refoulé à travers le coke et expulsé au bas de l'appareil après s'être refroidi et dépouillé de son humidité. Il remonte dans la chambre et s'élève au plafond, d'où il est aspiré à nouveau par le ventilateur de façon à réaliser un cycle fermé. On admet que les échanges thermiques sont instantanés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, nous estimons que la principale caractéristique des études et expériences entreprises depuis 1878 en vue de la production et de la distribution de l'air froid se trouve tout entière dans la tendance à peu près générale des industriels et des constructeurs : 1° à réduire au minimum la distance qui sépare la source du froid du point où le froid doit être utilisé, à supprimer même cette distance en logeant la source du froid dans le local à refroidir; 2° à produire de l'air aussi sec et aussi pur que possible; 3° à n'admettre qu'un seul organe métallique intermédiaire entre le gaz qui se détend et l'air qui se refroidit, à rejeter même tout intermédiaire entre le liquide incongelable et l'air; 4° à favoriser dans la plus large mesure l'échange des températures entre l'air et le liquide par la multiplication extrême des points de contact et l'utilisation maxima des surfaces refroidissantes: toutes conditions essentielles qui, réalisées simultanément dans une même installation, peuvent seules permettre d'obtenir un fonctionnement sûr et régulier et d'atteindre un rendement supérieur si les machines sont elles-mêmes économiques, bien conçues et de construction soignée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONSTRUCTION ET ISOLEMENT DES CHAMBRES FROIDES.

Quel que soit l'usage auquel est destiné un local donné refroidi à une température plus ou moins basse, il y a lieu en général, pour réaliser un refroidissement économique et en même temps rapide et maintenir la température au degré voulu avec la moindre dépense de froid possible, de le protéger contre les effets désastreux des déperditions, des réchauffements extérieurs et des rentrées d'air ambiant. Pour arriver à ce but, l'on est naturellement amené à placer ce local en sous-sol chaque fois que les circonstances locales ou les exigences du service à remplir le permettent et, dans tous les cas, à assurer à ses parois un isolement parfait et une étanchéité absolue.

Ces conditions essentielles ont d'autant plus d'importance que les locaux sont plus vastes et que le degré de froid auquel le local doit être amené et maintenu est plus bas dans l'échelle thermométrique. En effet, l'intensité des pertes par rayonnement et par conductibilité dépend d'une façon immédiate de l'étendue des surfaces exposées au réchauffement et, lorsque la composition et les dimensions des parois restent les mêmes, elle est directement proportionnelle à la différence des températures. De là, cette conséquence que c'est surtout dans les installations importantes établies au-dessus du sol et utilisant des froids intenses (comme la congélation des viandes par exemple), que les industriels, guidés d'ailleurs par leurs intérêts, se sont efforcés de remplir aussi rigoureusement que possible les conditions précédemment indiquées.

Dans les brasseries, au contraire, et dans toutes les installations où la température doit être maintenue au-dessus de zéro dans des locaux souterrains, l'isolement assuré par les fondations mêmes du bâtiment suffit généralement. Cependant les constructeurs croient dans la plupart des cas devoir donner à celles-ci des épaisseurs plus grandes qu'il ne serait nécessaire pour assurer la stabilité de la construction, de les construire soit en béton, soit en pierres, en briques de bonne qualité judicieusement employées et jointoyées avec soin. Le plus souvent, comme dans la petite cave de brasserie installée à l'Exposition à titre de spécimen par la Compagnie Pictet, les parements intérieurs sont revêtus d'un enduit imperméable en ciment et des vides sont ménagés dans l'épaisseur des murs, le matelas d'air ainsi emprisonné jouant le rôle d'un parfait isolant.

Il est juste de remarquer que ce dernier mode de construction, appliqué également aux étages supérieurs, n'est pas sans présenter d'inconvénient grave. Il peut arriver en effet que par suite de jointoiements défectueux, de fissures, etc., une véritable circulation s'établisse entre le vide de la paroi et l'air extérieur ou celui des chambres froides. Dans les deux cas, il se produit dans cet intervalle des cloisons des remous, des échanges et des pertes de chaleur qui déterminent des relèvements de la température intérieure et rendent plus difficile et moins économique le maintien des locaux à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la température voulue. Dans ces conditions la couche d'air ne présente aucun avantage sur la maçonnerie pleine.

Aussi, dans certains cas, un isolement suffisant ne peut-il être obtenu, au moins pour les murs des étages supérieurs, qu'en doublant et même en triplant le matelas d'air. Les constructeurs arrivent de la sorte à constituer des parois qui atteignent un mètre et plus d'épaisseur. Nous pourrions, comme exemple de l'importance des précautions prises, citer telle brasserie où, pour isoler des salles situées au-dessus du sol, de 40 mètres de longueur et 30 mètres de largeur, il a été reconnu nécessaire de composer les murs comme suit en partant de l'intérieur : meulière 0 m. 600, matelas d'air 0 m. 110, briques creuses 0 m. 220, deuxième matelas d'air 0 m. 110, deuxième cloison de meulière 0 m. 400; soit une épaisseur totale de 1 m. 440. Le plafond le plus rapproché de la toiture est constitué par des voûtins formés de deux rouleaux de briques de liège de 0 m. 120 de hauteur, un remplissage en béton de mâchefer arasant le niveau supérieur de la voûte, un lit de carreaux de liège de 0 m. 040, revêtu d'un enduit en ciment de 0 m. 030. Ces voûtins résistent à une charge de 600 kilogrammes par mètre carré.

Le mode d'isolement des entrepôts frigorifiques consacrés à la conservation des viandes devait faire, et a été en réalité depuis le développement considérable pris par cette industrie, l'objet d'essais nombreux et de recherches suivies.

Les constructions en maçonnerie doivent être considérées comme les seules durables, car ce sont celles qui sont susceptibles de résister le mieux aux intempéries des saisons et à l'influence des variations de température, de sécheresse ou d'humidité de l'air extérieur. On admet donc généralement aujourd'hui que, pour un entrepôt à créer de toutes pièces, il est indispensable de protéger les chambres à viandes par une enveloppe en maçonnerie ordinaire qui porte généralement la toiture et reste indépendante, ou non, des parois isolantes proprement dites dont elle peut être séparée par un matelas d'air ou même un couloir de ronde. Comme, pour des raisons d'économie, il y a dans ce dernier cas intérêt à réduire au minimum acceptable l'épaisseur de l'enveloppe, il est prudent, dans l'étude de l'isolement d'un local donné, de ne compter en aucune façon sur le supplément d'isolation dû à la présence de cette enveloppe.

Lorsqu'il s'agit simplement d'aménager une chambre frigorifique dans un local construit, la solution à adopter est différente suivant la nature, l'épaisseur et l'état de conservation des parois déjà existantes. Si l'épaisseur est faible et la construction imparfaite, ou encore si les parois de la chambre doivent être à une certaine distance des murs extérieurs, on doit, comme dans le cas précédent, ne tenir aucun compte de l'existence de ces derniers. Dans le cas contraire, le mur extérieur peut être considéré comme le premier élément de la paroi isolante.

Dans le cas particulier des chambres à viandes, il importe d'une façon toute spéciale que cette paroi isolante soit non seulement étanche, mais encore composée de matériaux imputrescibles et imperméables à l'humidité. Si cette condition n'était pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réalisée dans une proportion suffisante, l'humidité provenant des viandes, qui se dépose dans certains cas à la surface des parois, pourrait favoriser la détérioration rapide de la cloison interne et, en cas de non-étanchéité, la fermentation des matières non conductrices dans l'intérieur de la paroi. Cette fermentation, qui pourrait également provenir de l'humidité de l'air extérieur, entraînerait dans la chambre des odeurs malsaines et peut-être des germes de décomposition. Les mêmes précautions sont à observer dans la constitution des planchers qui sont le siège de la plus grande déperdition de froid, parce que l'air froid gagne rapidement le sol en raison de sa plus grande densité.

Il n'est pas moins indispensable, surtout en ce qui concerne les entrepôts de conservation à court terme, d'assurer toutes facilités pour le nettoyage et le lavage fréquents des planchers et des parois, et pour cela de revêtir les surfaces verticales et les soubassements, soit d'enduits, soit de peintures claires inaltérables par l'humidité, et le sol d'une couche de béton ou d'asphalte, ou de carreaux de faïence et d'y ménager toutes les pentes nécessaires pour l'évacuation rapide des eaux.

Il y a également intérêt, d'autre part, à réduire autant que possible le nombre d'ouvertures nécessaires pour l'éclairage, les parois en verre étant bonnes conductrices de la chaleur, et de ne pratiquer ces ouvertures que dans les parois des chambres exposées au nord et à l'est, afin de diminuer, pour la partie vitrée, la différence des températures du local et de l'air ambiant. Les fenêtres sont alors composées de deux ou trois châssis en verres dépolis ou striés, comprenant entre eux une ou plusieurs couches d'air isolantes ; il est bon de les garnir de volets ou d'un rideau en matière peu conductrice (feutre par exemple).

De même, une utile précaution à prendre pour éviter les déperditions d'air froid au moment de l'ouverture des portes consiste à ne faire ouvrir celles-ci que sur un sas éclusé, à température moyenne entre celle du local et la température extérieure et à rendre leur fermeture automatique.

En outre, dans le cas de chambres destinées à la congélation ou à la conservation des viandes, il semble qu'on ne trouve pas avantage à dépasser comme hauteur utile plus de 2 m. 50.

Enfin les cloisons doivent être autant que possible rendues inattaquables par les rongeurs et ininflammables.

La plupart des précautions indiquées ci-dessus doivent être exagérées dans le cas de magasins de congélation dans lesquels les quantités de frigories débitées sont considérables, les températures très basses et toute trace d'humidité proscrite d'une façon absolue.

Les constructeurs n'hésitent plus aujourd'hui à se conformer à ces exigences multiples qui, autrefois, paraissaient légèrement poussées à l'excès.

La tendance générale est de n'admettre dans la constitution des parois que des corps qui, tout en étant aussi mauvais conducteurs que possible, remplissent les autres

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conditions énoncées plus haut[1]. La question de prix ne joue le plus souvent qu'un rôle secondaire.

De nombreux modes de construction ont été appliqués depuis dix ans; nous n'indiquerons que les principaux :

La Société Linde, les Compagnies Fixary et Pictet emploient de préférence, dans la construction de leurs entrepôts frigorifiques, le système des murs de brasseries en briques ou meulières, soit pleins, soit avec vides intérieurs renfermant un ou plusieurs matelas d'air ou des matières isolantes qui maintiennent dans l'enveloppe une certaine quantité d'air immobile. Ce procédé, un peu coûteux, demande, comme nous l'avons dit, une exécution soignée.

Le parement intérieur est revêtu d'une couche soit de ciment, soit de stuc ou encore de carreaux émaillés (Anvers) avec soubassement en ciment, en carreaux ou en frises assemblées. Le sol est revêtu de carreaux de petites dimensions dont la juxtaposition forme des rigoles naturelles.

Dans un entrepôt frigorifique récemment établi par elle (M. Velly, à Paris), la Compagnie Pictet a adopté les dispositions suivantes : 1° parois verticales de 0 m. 70 d'épaisseur, comprenant un mur en meulière de 0 m. 50, un vide de 0 m. 10 rempli de déchet de liège et une cloison en briques de 0 m. 11, enduit de ciment sur les faces intérieures; 2° sol bitumé avec pentes; 3° plafond en fer et briques recouvert de quatre couches isolantes : déchets de liège 0 m. 15, mâchefer sec 0 m. 10, béton de mâchefer 0 m. 10, asphalte ou bitume; 4° chambre froide entourée de cloisons verticales de 0 m. 25 d'épaisseur comprenant un double placage en bois avec remplissage de déchets de liège et d'un plafond de planches jointives recouvert de 0 m. 50 de liège.

Cette construction très rationnelle procure un bon isolement.

Certains constructeurs préconisent l'emploi de la brique et du béton de scories, matières très peu conductrices qu'il est facile de se procurer à bon marché.

MM. Imbert frères ont adopté la composition suivante pour les parois d'un entrepôt à rez-de-chaussée : mur extérieur en pisé de 0 m. 400 d'épaisseur, vide de 0 m. 100 rempli de scories légères, cloisons de briques de 0 m. 120. Le plafond est composé d'un lattis jointif hourdé comme à l'ordinaire et recouvert de deux lits de matériaux isolants, l'un de scories, l'autre, plus épais, de sable. Le sol est formé de terre battue pilonnée et d'une couche de béton de 0 m. 050 avec enduit en ciment.

Les cloisons en bois avec intervalles remplis par des matières isolantes sont employées presque exclusivement en Angleterre et en Amérique où le bois, d'ailleurs facile à travailler, est à bon marché; elles sont très souvent indépendantes des murs exté-

[1] Les principaux isolants employés sont la sciure, le charbon de bois spécial, le feutre, la laine minérale, le fossil-meal ou silice fossile, le varech, la bourre de soie, les cendres de houille, les laitiers légers, le liège en poudre ou aggloméré, la tourbe, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rieurs [1]. La chambre à deux compartiments (16 mètres carrés chacun) installée par MM. Sansinena et Cie, dans le pavillon de la République Argentine, donnait un exemple de ce genre d'installation. Les parois sont constituées par deux cloisons en sapin laissant entre elles un vide de 0 m. 150 ou 0 m. 200, quelquefois davantage, rempli par du charbon soigneusement séché et pilé et de nature particulière. Ce charbon en paillettes (flake charcoal), qui provient de la combustion lente des déchets de bois ou de branchages, est plus léger, plus ténu et plus mauvais conducteur que le charbon de bois ordinaire et constitue un isolement remarquable. Chacune des cloisons est composée de deux cours de planches bouvetées, ou placages, dont l'épaisseur totale est de 0 m. 050 pour la cloison extérieure et de 0 m. 060 pour la cloison intérieure.

Elle est montée de façon que les joints des deux placages soient verticaux ou obliques, mais toujours contrariés. Les deux cloisons sont clouées sur une charpente en madriers de 0 m. 20 d'épaisseur.

Dans des installations plus importantes MM. Hall et Cie font garnir la face intérieure de la seconde cloison d'une tôle mince qui s'oppose à l'entrée des rongeurs et interposent entre les deux lits de planches de la même cloison un papier d'emballage qui sert à calfeutrer les gerçures et les fentes. Le plafond et le parquet, qui repose sur un lit de béton, sont composés de la même façon; celui-ci ainsi que les parois verticales peuvent être pourvus d'un système de tasseaux fixes ou de claies mobiles qui facilite le passage de l'air froid autour des empilages de viandes et empêche tout gondolage des cloisons. Un espace vide de 0 m. 60 à 0 m. 80 de hauteur est réservé pour l'air entre le plafond et ces empilages; la hauteur des chambres varie entre 2 m. 65 et 3 mètres.

Les bords des portes affectent la forme d'un biseau qui vient coincer sur une feuillure oblique de façon à assurer l'herméticité de la fermeture. La porte est maintenue fermée par un système de loquets solides ou de traverses tournantes s'engageant dans des étriers fixés aux chambranles.

Les portes des cloisons de séparation intérieures sont le plus souvent glissantes et portent à la base et au sommet des galets mobiles sur des rails. Les portes sont garnies, au lieu de charbon pilé, d'un feutre intérieur qui les rend moins pesantes et plus maniables. Un judas y est souvent ménagé; il est garni d'un rouleau qui facilite l'introduction et la sortie des viandes et d'un panneau mobile qui permet de n'introduire à chaque manœuvre que de petites quantités d'air extérieur et empêche la sortie de l'air froid qui s'accumule dans le voisinage du sol.

L'éclairage est réalisé dans les entrepôts à un seul étage par des ouvertures carrées de 0 m. 400 de côté pratiquées dans les plafonds. Une lampe (à incandescence ou

[1] Aux États-Unis, les magasins de conservation de viandes ont jusqu'à cinq, six et même sept étages; les magasins de congélation ne comprennent au contraire que deux étages assez bas.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autre) est emprisonnée entre les deux châssis vitrés qui ferment l'ouverture à l'intérieur de la chambre et le châssis extérieur voilé par un panneau mobile en bois n'est découvert qu'au moment du besoin. Le plancher des chambres est enduit de temps à autre d'un badigeon composé d'eau, de colle de peau et de chaux vive, celle-ci absorbant l'humidité de la couche donnée.

L'ensemble d'une pareille installation, réalisée au Havre, donne toutes satisfactions [1]. Les wagons qui servent au transport de la maison Sansinena sont isolés au moyen de la cloison ordinaire du véhicule, d'une couche de charbon, d'une tôle mince et d'un cours de planches unique.

MM. Rouart frères construisent leurs chambres frigorifiques (dont un modèle réduit était exposé classe 66) d'après un procédé analogue à celui de MM. Hall et Cie; les parois sont formées de deux doubles placages de 0 m. 054 d'épaisseur comprenant un vide de 0 m. 35 à 0 m. 400 de largeur rempli de sciure ou de toute autre matière isolante. Les déperditions pour une température intérieure de — 4 degrés peuvent être évaluées à 8 calories par mètre carré et par heure. La sciure ne peut être employée sous cette épaisseur qu'à la condition d'être très sèche et introduite dans des parois absolument étanches; humide, elle donnerait lieu à des fermentations et s'échaufferait.

Une disposition analogue a été adoptée par la Société Fixary pour l'installation provisoire de la chambre frigorifique exposée classe 66.

La paroi des chambres frigorifiques des Victoria Docks, à Londres, a fait l'objet d'expériences répétées et de transformations successives. La composition à laquelle on s'est définitivement arrêté en 1888 est la suivante : placage extérieur de 0 m. 063, vide de 0 m. 203, rempli de charbon de la qualité Twed charcoal, parfaitement sec en poussier, deux placages de 0 m. 25 à joints contrariés, une feuille de papier brun spécial, un placage intérieur de 0 m. 032 peint à l'huile; épaisseur totale 0 m. 310. Les montants d'équarrissage (0 m. 203 × 0 m. 76) sont distants de 0 m. 61 d'axe en axe; comme ils ont une conductibilité plus grande que celle du charbon, on interpose entre leurs faces et les placages voisins une lame de feutre.

Les portes qui servent à l'introduction et à la sortie des viandes sont de petites dimensions (0 m. 90 × 0 m. 90 pour le bœuf et 0 m. 46 × 0 m. 46 pour le mouton) et situées à 1 m. 50 au-dessus du sol des chambres pour éviter les pertes d'air froid. Elles sont fermées par deux volets à charnières ou glissants, dont l'un, intérieur et isolé, est formé de deux placages de 0 m. 025 avec couche d'amiante de 0 m. 064 interposée. L'amiante est plus cher, mais plus léger et moins conducteur que le charbon. Les

[1] D'après certaines expériences comparatives exécutées en 1888 en Angleterre, voici quels seraient les coefficients de conductibilité de quelques matières isolantes comparées au charbon de bois en paillettes flake charcoal) : laine minérale 0.860; flake charcoal 1; feutre 1.070; fossil meal 1.138; liège 1.273; charbon de bois ordinaire 1.446; cendres de houille 2.119. La laine minérale ou coton siliceux est le meilleur isolant, mais aussi le plus cher.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

portes de circulation des ouvriers sont à 0 m. 90 au-dessus du plancher. Elles sont à double biseau; leur section en plan indique deux biseaux raccordés par une ligne parallèle aux faces de la porte. La feuillure est garnie d'un tampon en flanelle qui assure une fermeture complète.

M. Chambers a proposé de supprimer toutes les ouvertures latérales et de les pratiquer dans le plafond où elles seraient desservies par des élévateurs et d'enlever les cloisons de séparation de certaines chambres de façon à retrancher le plus grand nombre possible de coins où l'air circule difficilement et se réchauffe.

Ces détails montrent combien les constructeurs se préoccupent d'assurer l'isolement des locaux et aussi de réduire au minimum les pertes de froid dues aux dispositions vicieuses de la distribution.

Les conduites d'amenée d'air sont également isolées et peintes à l'huile; l'intervalle de la double cloison est rempli par du charbon ou de l'amiante. On leur a donné une large section (0 m. 60 × 0 m. 56) et une direction aussi rectiligne que possible pour éviter les réchauffements dus aux frottements intérieurs et aux coudes. Les conduites de retour sont à paroi simple non isolée (section 0 m. 30 × 0 m. 36).

Les parois du réfrigérateur Wickes, aussi en bois, étaient parfaitement combinées et comprenaient : deux cours de planches de chêne, une couche de sciure de 0 m. 160 d'épaisseur, un placage, un matelas d'air, un second placage, une couche de papier comprimé spécial, un second matelas d'air et un placage intérieur. Le plafond était constitué d'une façon analogue sauf, en plus, un lattis supérieur hourdé en plâtre et, en moins, le premier placage et le premier matelas d'air. L'emploi du chêne élève le prix de la construction.

Dans certaines installations industrielles plus récentes, nombre de constructeurs ont trouvé avantageux de combiner avec les cloisons en bois ou en maçonnerie l'emploi du liège en poudre ou aggloméré. Ce système de construction s'est fort répandu en Allemagne depuis quelques années et constitue un véritable progrès. Le liège en poudre remplace le charbon ou la sciure dans les vides des parois; le liège aggloméré en carreaux de grandes dimensions ou en briques est utilisé dans la construction des cloisons intérieures ou pour le revêtement intérieur des murs. Les carreaux sont plus avantageux que les briques pour la conservation du froid parce qu'ils demandent un moins grand nombre de joints.

Outre sa mauvaise conductibilité, le liège aggloméré présente sur les autres isolants des avantages incontestables; il est imputrescible, difficilement inflammable; la chaleur et l'humidité n'ont aucune prise sur lui; aucun insecte, aucun rongeur ne l'attaque, il est protégé par les matières minérales qui l'enrobent. Ce produit semble d'ailleurs plus isolant que le liège naturel parce que le mode d'agglomération emprisonne dans chaque brique une quantité d'air relativement considérable qui y reste à l'état de repos. Les briques de liège sont plus légères (250 kilogrammes le mètre cube) que les briques ordinaires; en outre, comme, à dimensions égales, elles sont plus isolantes,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(à peu près quatre fois plus[1]), elles permettent de réduire les épaisseurs et le poids des murs, d'où économie dans la construction.

Le liège aggloméré peut être asphalté; il devient alors incorruptible, les cloisons et revêtements sont hourdés ou enduits au ciment ou au mortier d'asphalte ou encore avec un mélange de brai et de silice fossile. Dans ce dernier cas, il permet de réduire la proportion d'eau employée dans la construction; son emploi est donc particulièrement favorable au maintien de la sécheresse de l'atmosphère des chambres.

Les briques en liège aggloméré asphalté offrent une plus grande résistance à l'écrasement que les briques ordinaires; elles conviennent donc parfaitement pour les constructions stables. Quelles que soient les variations des températures extérieures ou intérieures, elles conservent leur ténacité et leur plasticité qui leur permettent de suivre sans déchirures les mouvements ou tassements de la construction.

Le liège brun, plus fin que le précédent, plus léger (170 kilogrammes) et moins perméable à l'air, est aggloméré en carreaux de 2 mètres d'épaisseur qui peuvent être avantageusement employés pour doubler les portes des chambres frigorifiques; son prix est un peu plus élevé.

Tous ces produits fabriqués par M. Garnot, de Vitry, figuraient à l'Exposition (classe 63). Cet industriel préconise le mode de construction suivant: mur en meulière (supportant la toiture), carreaux de liège asphalté, cloisons en briques, revêtement en ciment. Ces lièges agglomérés ont été employés par la Compagnie Popp dans son entrepôt de la Bourse du commerce pour la construction de la paroi qui sépare chaque cellule du couloir central. Les trois autres parois de la cellule et le plafond sont constitués par une double enveloppe en tôle peinte à l'émail blanc dans l'intervalle de laquelle circule l'air détendu.

La Compagnie Fixary indique les deux modes de construction suivants pour des parois d'environ un mètre d'épaisseur totale : 1° trois cloisons équidistantes en briques de liège, le premier intervalle rempli par un matelas d'air, le second par une couche de sciure; 2° un mur de deux briques, une couche d'air, une cloison double en planches, avecvi de de 0 m. 40 rempli de sciure ou de paille hachée (cette dernière matière présente les mêmes inconvénients que la sciure, elle craint l'humidité). Le plafond est constitué de la manière suivante : voûtes en briques creuses et fer à T,

[1] Des expériences intéressantes ont été faites en Allemagne dans le but de déterminer pratiquement la valeur du liège aggloméré asphalté comme isolant. Quatre chambres de dimensions égales ont été construites dans un même local, refroidies à 0 degré, puis on a introduit dans chacune 30 kilogrammes de glace. La fusion de celle-ci a été complète :

Dans la première (trois briques pleines)..	au bout de 67 heures.
Dans la seconde (un vide de 0 m. 120 entre deux briques pleines).....	73
Dans la troisième (briques creuses de 0 m. 120 entre deux pleines).....	64
Dans la quatrième (brique de liège de 0 m. 120 entre deux briques pleines)..	218

Ces faits confirment ce qui a été dit plus haut sur les inconvénients des matelas d'air.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

couches de tourbe de 0 m. 30, couche de liège asphalté de 0 m. 20 et enduit en ciment [1].

La subérine ou liège pulvérisé peut être employée d'une façon analogue. On peut l'agglomérer de manière à former un « béton de liégine » en carreaux ou en briques. Elle possède à peu près les mêmes qualités que les matériaux précédents. Il est bon de recouvrir les parois d'un enduit lissé de liège métallisé, à base antiseptique, qui met le béton à l'abri de l'humidité et le rend facile à nettoyer même à grande eau.

Nous avons déjà fait remarquer l'importance qu'il y avait à exagérer les précautions d'isolement en ce qui concerne les planchers des chambres froides. L'air froid plus dense s'accumule en effet dans le voisinage du sol; celui-ci est donc le siège d'une déperdition de calories négatives plus considérable que toutes celles qui se produisent par les parois, la quantité de chaleur transmise par contact ou conductibilité étant proportionnelle à l'écart des températures du local et de l'air extérieur.

Il s'ensuit que, dans la plupart des installations existantes, la composition des planchers est au moins aussi soignée que celle des parois, et quelques constructeurs s'appliquent avec raison à la perfectionner encore davantage. Ainsi la Compagnie Popp a constitué le sol des chambres de la Bourse du commerce de la façon suivante : couche supérieure de bitume, au-dessous placage de bois, liège asphalté, bitume et lit de béton. Cette composition donne de très bons résultats.

Certaines maisons anglaises très compétentes poussent encore plus loin le souci des précautions à prendre pour assurer un isolement parfait et durable. L'une d'elles fait remarquer, non sans raison, que c'est sur le plancher des chambres frigorifiques, plus froid que les autres parties du local, que l'humidité de l'air ou celle dégagée par les matières conservées tend principalement à se condenser sous forme de givre. Si l'enveloppe intérieure de ce plancher est une cloison de bois, ce bois absorbe l'humidité, gonfle, tandis que les boiseries du plafond, plus sèches, doivent subir des retraits plus ou moins considérables. De ces deux mouvements inverses peuvent résulter des dislocations assez sensibles pour compromettre partiellement l'étanchéité des parois isolantes. Dans ces conditions, il semblerait avantageux au point de vue de la permanence de l'isolement, de revêtir les cloisons de bois, de feuilles d'un métal unique ou de métaux différents ayant sensiblement le même coefficient de dilatation, tels que le plomb et le zinc.

Ainsi, dans certains établissements de Rio Parana (République Argentine), les chambres de congélation sont construites avec des parois en briques de 1 mètre d'épaisseur comprenant une ou plusieurs couches de charbon de bois. Le plafond et les planchers comportent une double enveloppe en tôle galvanisée dans laquelle sont compris un lit de paille hachée, un placage en bois et une couche de charbon pilé.

[1] Il résulte d'expériences récentes que la tourbe peut être considérée comme l'un des meilleurs isolants connus et comme supérieure à la sciure dont elle ne présente pas les inconvénients. (Billancourt).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans d'autres installations, le plancher est revêtu de deux feuilles de plomb, les parois et le plafond, de zinc. L'isolement est obtenu par des lames de feutre, une cloison de bois épaisse, un nouveau feutrage ou un revêtement de papier, un lit de charbon pilé, un troisième feutrage et une dernière et épaisse cloison de bois.

L'isolement obtenu de cette façon est aussi complet que possible et offre l'avantage d'être à l'abri des attaques des rongeurs et des insectes, mais ce mode de construction des chambres est en même temps assez onéreux et semble convenir particulièrement pour les établissements situés dans les pays chauds.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONSERVATION INDUSTRIELLE DES VIANDES.

La conservation des viandes par le froid, qui a pris une importance si considérable en Amérique, en Australie et en Angleterre depuis dix ans, est en France un sujet d'actualité.

De nombreux essais ont été exécutés pendant ces dernières années pour arriver à réaliser cette conservation d'une façon régulière, certaine et économique.

Il est reconnu, en effet, que ce procédé est le seul qui permette de conserver aux viandes l'aspect, les qualités et la valeur commerciale des viandes fraîchement abattues.

Il est bien supérieur aux procédés de conservation par salaison et boucanage, dessiccation, cuisson, antiseptiques, enrobage, injection de liquides préservatifs, emploi du vide ou d'atmosphères artificielles ou immersion dans des mixtures conservatrices. Tous présentent, en effet, de notables inconvénients; en général, ce ne sont pas des moyens d'action certains, l'application en est quelquefois difficile et coûteuse, les résultats irréguliers et souvent ils font subir à la viande, en même temps qu'une perte de poids assez notable, des transformations chimiques telles que l'assimilation en est généralement difficile et peut n'être pas sans danger à la longue pour le consommateur.

L'altération des denrées alimentaires est, comme on le sait, due à un genre spécial de fermentation putride. La chaleur est la cause prépondérante qui détermine la décomposition. L'activité et le développement des ferments, très grands à 30 degrés, sont au contraire suspendus aux environs de 0 degré.

L'humidité favorise également l'apparition et la propagation des ferments, et l'air est l'agent d'ensemencement des matières organiques.

Il en résulte que la pureté, la sécheresse et l'abaissement de température de l'air ambiant sont les conditions indispensables, primordiales, de tout procédé destiné à mettre les denrées alimentaires à l'abri des altérations putrides.

L'emploi du froid seul permet de réaliser simultanément ces trois conditions sans nécessiter aucune préparation préalable spéciale et sans addition de matières étrangères.

Cette action préservatrice du froid a été reconnue de tout temps, et, en Russie, comme dans tous les pays où les températures sont basses, le commerce des poissons et viandes gelés donne lieu à un trafic important.

Les premiers essais de conservation des viandes par le froid produit à l'aide de machines spéciales furent exécutés en France par M. Tellier en 1870 et répétés en 1873-1874. Les viandes étaient exposées dans une chambre refroidie vers 0 degré ou — 1 degré, à l'aide d'une circulation de chlorure de calcium dans des serpentins et d'un courant d'air lancé par un ventilateur sur des surfaces métalliques maintenues à 8 ou 10 degrés au-dessous de zéro. La vapeur d'eau se condense sur ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

surfaces sous forme de givre et retient en même temps les germes et les impuretés de l'air.

Des viandes de boucherie, des volailles, des gibiers, etc. purent être conservés ainsi pendant une durée variable de six semaines à deux mois. A la suite d'expériences faites par une délégation de l'Académie des sciences, M. Bouley, rapporteur, écrivait dans son rapport du 5 octobre 1874 :

« C'est avec de l'air froid, en partie purifié et relativement desséché, que l'on doit constituer l'atmosphère du local dans lequel on veut soumettre les matières putrescibles à l'action du froid.

« Introduites fraîches dans la chambre froide, les denrées y demeurent exemptes de toute putréfaction et si, lorsqu'elles sont mises en expérience, déjà la fermentation putride s'y était établie, ce mouvement s'arrête immédiatement.

« Les viandes de boucherie conservent l'odeur de la viande fraîche et son aspect extérieur, à part, au bout d'un certain nombre de jours d'exposition dans la chambre froide, les teintes plus sombres de leurs coupes et une dessiccation qui se produit à la surface. Mais, si l'on enlève une très mince couche de cette surface plus sèche exposée à l'air, la couleur de la viande fraîche apparaît à l'instant et témoigne de son état de complète conservation.

« Les graisses se dessèchent également à leur surface, mais n'acquièrent pas d'odeur de rance. Bref, l'odeur des viandes ainsi exposées demeure celle qui leur est propre dans chaque espèce, sans aucune intervention des émanations par lesquelles s'accusent les fermentations qui s'emparent des matières animales humides quand elles subissent les influences atmosphériques ordinaires.

« Outre la dessiccation de leur couche la plus superficielle, les viandes éprouvent une diminution graduelle de leur poids résultant de la perte par évaporation d'une certaine quantité de l'eau qu'elles contiennent. Cette perte, au bout de trente jours, est de 10 p. 100. Passé ce délai, la perte causée par l'évaporation s'atténue; elle n'est plus, pendant la deuxième période de trente jours, que de 5 p. 100. Au delà, la dessiccation continue toujours, mais avec une grande lenteur.

« Cet état de sécheresse relative des surfaces constitue pour les viandes une condition de leur conservation ultérieure quand elles cessent d'être soumises à l'action du froid, car elle s'oppose à l'hydratation des germes et à leur développement.

« Dans les quarante à quarante-cinq premiers jours, les viandes de boucherie conservées par le froid retiennent complètement leurs qualités comestibles. Il est même vrai de dire qu'elles s'améliorent à ce point de vue pendant la première semaine, en ce sens que, tout en conservant leur arome, elles acquièrent plus de tendreté et sont par cela même plus facilement digestibles.

« A part cette différence, tout à leur avantage, elles sont tellement semblables aux viandes fraîches qu'il n'est pas possible de les en distinguer.

« Une question devait être examinée, celle de savoir si un quartier de bœuf se con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

serverait aussi facilement qu'un quartier de mouton. On se demandait si, pendant le temps, nécessairement plus long, qu'un quartier de bœuf exigerait pour être refroidi dans sa profondeur, des phénomènes de fermentation ne pourraient pas se produire autour de l'axe osseux. L'expérience a démontré que cette lenteur dans le refroidissement de la masse totale n'a pas eu d'inconvénient, d'abord parce que l'air de la chambre froide est absolument défavorable, par l'abaissement de sa température, à l'activité des germes dont du reste, suivant toutes les probabilités, il s'est dépouillé en perdant son eau hygrométrique, et, en second lieu, parce que ce qui pouvait rester de germes fermentescibles dans l'atmosphère de la chambre froide n'a pu trouver les conditions de la manifestation de son activité sur la couche extérieure de la pièce de viande, laquelle couche s'était mise la première en équilibre de température avec le local. »

Et l'honorable rapporteur insiste sur la nécessité de produire de l'air froid sec. « Dans le cas, dit-il, où l'humidité de l'air serait telle qu'il ne se sécherait pas assez en passant sur les plaques du réservoir frigorifère, on doit compléter sa dessiccation à l'aide de vases contenant du chlorure de calcium que l'on dispose dans l'intérieur du local en nombre suffisant pour atteindre le résultat. »

Tout en faisant l'éloge du procédé, il terminait en formulant certaines réserves au sujet de la possibilité de ses applications pratiques et industrielles.

Le développement pris par le commerce des viandes frigorifiées a démontré que ces réserves n'avaient plus leur raison d'être, mais les observations précédentes, faites il y a quinze ans au sujet des conditions à observer pour réaliser une conservation certaine et parfaite par le froid, loin d'avoir perdu de leur valeur, sont au contraire confirmées par la pratique, devenue courante, de ce procédé.

Ces principes ont été d'ailleurs appliqués par M. Tellier dans les essais de transport de viandes exotiques qu'il exécuta avec le navire *le Frigorifique*, essais dont nous dirons quelques mots plus loin.

L'insuccès partiel de l'entreprise du *Frigorifique* lors de son retour en France jeta un certain discrédit sur la conservation des viandes par le froid, et jusqu'en 1888, aucune tentative nouvelle, en dehors de certains essais de laboratoire, pour ainsi dire, ne fut faite en France dans cette voie.

Les seules expériences qui méritent d'être signalées en France pendant cette période sont celles entreprises par MM. Mignon et Rouart en vue de la conservation des cadavres à la Morgue, expériences qui ont abouti à l'installation (1882) dont nous avons parlé plus haut.

En raison de la mauvaise conductibilité du corps humain et de la lenteur avec laquelle il se refroidit, il fut reconnu qu'une température de 0 degré n'était pas suffisamment efficace, et que, pour arrêter la putréfaction commencée, il était nécessaire de hâter le refroidissement par l'application d'un froid énergique.

Aussi les corps sont-ils congelés à — 15 degrés et conservés ensuite dans une salle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à — 4 degrés. Toute circulation d'air est évitée afin d'empêcher le plissement de l'épiderme qui rendrait la reconnaissance difficile.

Les mêmes constructeurs imaginèrent en 1883, pour répondre à l'appel de la Société d'encouragement, un nouveau mode d'utilisation du froid applicable dans les établissements de conservation à demeure et en même temps aux transports, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir à bord l'action continue d'une machine dont l'arrêt accidentel peut déterminer la perte du chargement.

Ce procédé consistait à refroidir les quartiers de viande à très basse température, jusqu'à ce que la masse atteignît — 20 degrés au centre des morceaux et à les enfermer dans une enceinte capable de maintenir cette masse à quelques degrés au-dessous de zéro, pendant toute la durée de la conservation à terre et pendant le transport. Nous avons vu que, dans ce but, les parois de cette enceinte étaient constituées par des blocs de glace salée, fondant entre — 5 et — 4 degrés. 82 kilogrammes de viande de boucherie furent ainsi conservés pendant quarante-six jours et la viande se trouvait à la fin dans le même état qu'au début de l'expérience qui aurait pu être prolongée.

« On a souvent, dit le rapporteur de la Société d'encouragement, M. Jungfleisch, reproché à la viande conservée dans la glace de devenir molle dès qu'on la sort du milieu froid où elle a séjourné; elle a perdu, dit-on encore, une partie de la saveur qui caractérise la viande fraîche. La viande conservée par le procédé de MM. Mignon et Rouart nous a paru au contraire semblable à la viande fraîche. En se réchauffant à l'abri de l'humidité de l'air, elle a repris une belle apparence rose et n'est pas devenue molle. Mangée pour une partie le jour même de son extraction de la boîte et quelques jours après pour une autre partie, elle a été trouvée excellente par des personnes que la connaissance de son ancienneté avait prévenues défavorablement.

« Je ferai remarquer que MM. Mignon et Rouart, en refroidissant au préalable et brusquement la viande vers — 20 degrés, font intervenir un fait nouveau qui peut contribuer à différencier leurs résultats de ceux que fournit le refroidissement de la viande dans le voisinage de zéro seulement. Il me semble admissible, en effet, que, par un froid peu énergique mais prolongé, les liquides non solidifiés doivent subir peu à peu par dialyse, dans les tissus notamment, des modifications profondes qui entraînent la séparation à l'état solide de quelques-uns de leurs principes et occasionnent les changements défavorables observés lors du réchauffement. Il est au contraire certain que si ces mêmes liquides sont refroidis brusquement, solidifiés à la manière de la glace salée et maintenus solides pendant toute la durée de la conservation, les modifications en question, possibles seulement dans un liquide, ne se produiront pas.

« Cette hypothèse me paraît mettre en relief l'intérêt qui s'attache à l'idée de la réfrigération énergique introduite par les auteurs dans l'industrie dont ils s'occupent. »

Il y a lieu d'ajouter également que ce procédé a l'avantage d'emmagasiner dans la viande un volant de froid considérable qui lui permet de lutter avantageusement contre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les réchauffements extérieurs et facilite les transports à longue distance sans précautions spéciales. Nous parlerons au chapitre « Transports », de l'appareil imaginé par MM. Rouart et basé sur ce principe.

Pendant que ces expériences avaient lieu en France, le commerce des viandes frigorifiées se développait en Angleterre sur une très grande échelle.

Les expériences des navires *le Frigorifique* et *le Paraguay* avaient fait reconnaître les difficultés de toute nature que présentait à bord l'emploi de machines frigorifiques à liquide. Il était donc tout indiqué de substituer à ces dernières les machines à air dont la construction avait fait de grands progrès depuis l'Exposition de 1878.

Étant admis que la température la plus basse doit toujours être la plus favorable à la conservation des viandes, les machines à air, qui produisent avec toutes facilités des froids intenses jusqu'à — 70 degrés au détendeur, devaient parfaitement convenir pour les longs transports et facilitèrent, en effet, l'importation des viandes des pays d'élevage de l'Amérique du Sud. Mais, en raison de la durée des transports et du refroidissement énergique qu'il était nécessaire d'employer pendant le parcours dans les mers chaudes, la simple conservation des viandes au-dessus ou au voisinage immédiat de 0 degré devenait dangereuse, le moindre arrêt de la machine pouvant entraîner la perte de toute la cargaison. De là la nécessité de produire des froids intenses et, comme résultat, la congélation des viandes jusque dans leurs parties centrales pendant les premiers jours de la traversée. Aussi les importateurs prirent-ils bientôt le parti d'opérer la congélation au point de départ, de façon à réduire la puissance des machines destinées à assurer la conservation à bord. Ces viandes ainsi congelées furent trouvées à leur arrivée en parfait état de conservation et, une fois dégelées, comparables à la viande fraîche. Elles furent appréciées en Angleterre, et si rapidement, que les importations de moutons, qui étaient en 1881 de 17,275 têtes, s'élevèrent, en 1889, à 1,971,727 têtes, c'est-à-dire qu'en sept ans elles ont plus que centuplé [1].

Le succès, dans les centres anglais, des viandes congelées, et en même temps les remarquables résultats obtenus en France, tant à la Morgue que dans les expériences poursuivies sous les auspices de la Société d'encouragement, attirèrent l'attention sur le procédé de conservation des viandes par congélation.

Deux écoles se formèrent et existent encore aujourd'hui, l'une préconisant l'emploi de la congélation au moins pour une conservation d'assez longue durée, la seconde repoussant d'une façon absolue tout système de congélation et affirmant que cette opération, en brisant toutes les cellules intérieures, désorganise la substance animale et, par suite, la rend très apte à une décomposition rapide lors du dégel; la nuance, le goût, les qualités nutritives même seraient profondément modifiés. D'après ses par-

[1] En France, le nombre de moutons de la Plata importés congelés s'est élevé, en 1887, à 30,103; en 1888, à 38,190. Actuellement, l'Angleterre reçoit en outre chaque semaine de huit à dix mille quartiers de bœuf congelé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tisans, les viandes ainsi préparées devraient être cuisinées encore congelées; si on les laissait se dégeler, elles s'altéreraient presque immédiatement. Enfin l'emploi de températures modérées (zéro ou — 1 degré) suffirait pour assurer une conservation indéfinie de la denrée.

Jusqu'en 1889 aucune expérience n'avait été tentée dans le but de délimiter ce qu'il y avait de vrai et de logique dans chacun des deux systèmes. C'est à l'Administration de la Guerre que revient tout le mérite d'avoir entrepris les premières études comparatives tant scientifiques que pratiques et poursuivi les expériences les plus intéressantes sur les procédés de congélation et de conservation des viandes par le froid.

Il semble aujourd'hui démontré que la méthode à suivre doit être différente suivant qu'il s'agit d'une conservation à courte et à longue distance.

Dans tous les cas, et il convient ici de le répéter, *la siccité et l'abaissement de température de l'atmosphère dans laquelle sont plongées les viandes à conserver sont les deux conditions capitales d'une bonne conservation.*

S'il s'agit de conserver les viandes pendant une quinzaine de jours, par exemple dans les entrepôts annexes des abattoirs, une température constante de 3 à 5 degrés est largement suffisante.

Si la conservation doit être prolongée pendant trois semaines ou un mois, la température doit être abaissée et maintenue entre zéro et + 4 degrés; au delà, jusqu'à deux mois, il faut descendre à — 2 degrés et rester constamment au-dessous de zéro.

Ces conditions sont suffisantes dans le cas où la viande à sa sortie de l'entrepôt doit être livrée immédiatement à la consommation.

Dans ces entrepôts à court terme les entrées et les sorties sont fréquentes et, malgré toutes les précautions prises, les rentrées d'air extérieur, plus ou moins pur, plus ou moins chargé d'humidité, sont abondantes. De plus l'emmagasinage des viandes non vendues, ayant subi un commencement d'altération ou dégageant une odeur d'évent, peut être préjudiciable à la conservation des lots en bon état et sains, logés dans le même entrepôt. Il est donc de toute nécessité que l'atmosphère des chambres soit ventilée surtout au moment de l'introduction des viandes, fréquemment renouvelée et desséchée au contact du frigorifère (serpentins ou pluie de liquide incongelable). Dans une atmosphère, même très légèrement humide, confinée ou non, la viande se corrompt très vite lorsque la température est de + 3 à + 5 degrés et des moisissures superficielles apparaissent au bout d'un mois lorsque l'atmosphère est maintenue à 0 degré. Néanmoins la viande, sauf la couche extérieure, reste dans ce dernier cas parfaitement comestible.

Mais le renouvellement de l'air n'est réellement indispensable que si son état hygrométrique dépasse le chiffre correspondant à la température des chambres.

Il y a lieu d'observer qu'un courant d'air trop violent et trop prolongé a pour effet de dessécher assez rapidement les viandes simplement conservées à l'état frais, de boucaner leur surface et de réduire leur poids; au point de vue de sa valeur commerciale la viande subit ainsi une certaine dépréciation. Dans une atmosphère sèche et renou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

velée, maintenue à — 1 degré, la perte de poids par dessiccation est en cinq semaines d'environ 8 à 10 p. 100, quelquefois plus. D'autre part, les manipulations fréquentes, de même que les passages répétés et successifs de la viande de la température basse des chambres à la température plus élevée de l'air extérieur et *vice versa*, sont nuisibles à la bonne conservation.

Il importe également, pour assurer la conservation à court terme, que les viandes soient suspendues, isolées les unes des autres de façon que toute l'étendue de leurs surfaces soit complètement refroidie par l'air environnant. Dans ces conditions, il ne faut pas compter loger plus de 75 à 80 kilogrammes de viande fraîche par mètre cube de capacité totale et 100 kilogrammes par mètre cube de capacité utile des chambres d'entreposage.

Toutes les fois que la conservation doit s'étendre sur une période d'une durée supérieure à deux mois, la viande doit être soumise à une préparation qui consiste à la congeler à cœur, c'est-à-dire jusque dans ses parties les plus intimes, puis maintenue dans des chambres dont la température soit suffisante pour entretenir cette congélation profonde.

Il résulte d'expériences suivies et répétées que :

Le point de congélation de la viande est variable avec la composition de la viande, c'est-à-dire avec les proportions d'eau, de graisse et de tissus azotés qu'elle renferme; pour le bœuf, il est compris entre — 1 et — 4 degrés [1]. La température des chambres de congélation et de conservation doit donc toujours être au moins égale à ce dernier chiffre.

Faut-il amener simplement la viande à — 4 degrés à cœur ou la frapper à cœur à très basse température, — 15 ou — 20 degrés?

Certains partisans de ce dernier mode prétendent que les froids intenses ont pour effet, comme les températures supérieures à 100 degrés, de détruire les germes et ferments des substances organiques. Cette opinion paraît exagérée. Les expériences entreprises (1885) en Angleterre par M. Coleman, dans le but de constater l'action du froid sur les organismes inférieurs, ont démontré que même les températures les plus basses produites par les machines à air n'ont d'autre influence sur les viandes que d'en retarder la fermentation. On peut citer notamment que des viandes exposées pendant 65 heures à une température constante de — 63 degrés se sont putréfiées 12 heures seulement après leur sortie de la chambre frigorifique et leur exposition dans un milieu à 27 degrés. L'action des ferments est donc simplement paralysée tant que dure l'application du froid, mais en aucun cas la viande n'est stérilisée.

Il ne paraît donc pas nécessaire d'amener les parties centrales des viandes à une

[1] La viande semble se solidifier à la manière des alliages. Au moment où l'élément le moins fusible se congèle, le thermomètre reste stationnaire. Il ne reprend sa marche descendante qu'après la congélation complète de cet élément et s'arrête de nouveau au moment où il atteint le point de solidification de l'élément le plus fusible.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

température inférieure au point de congélation (— 4 degrés). D'autre part, pour les maintenir en bon état de conservation, l'expérience a démontré qu'il suffit de les faire séjourner, une fois congelées, dans une atmosphère constamment entretenue à — 4 degrés. Nous estimons donc, jusqu'à preuve contraire, qu'il est illogique d'abaisser la température des parties internes des viandes à — 15 ou — 20 degrés, puisque ces viandes, ramenées après congélation dans les chambres de conservation où elles doivent séjourner plusieurs mois, se mettront en quelques jours en équilibre de température avec l'atmosphère de ces chambres, à — 4 degrés ou dans le voisinage immédiat de — 4 degrés. Une pareille méthode entraînerait une perte de temps et augmenterait en pure perte le nombre de frigories fournies pour opérer la congélation.

Cependant, si l'on veut être sûr que la viande est gelée dans ses parties les plus épaisses et si l'on a à craindre dans certains cas un réchauffement partiel dû aux manipulations pendant le transport de la chambre de congélation à celles de conservation situées dans le même entrepôt, il semble prudent de regarder — 6 degrés comme le degré minimum de la température que devront marquer les thermomètres indicateurs plongés au centre des plus gros morceaux.

Mais dans tous les cas où les locaux de congélation et ceux de conservation forment des établissements distincts et éloignés l'un de l'autre, il paraît avantageux d'abaisser, avant le départ, la température des viandes congelées d'un nombre de degrés suffisant pour emmagasiner dans la masse un volant de froid capable de lutter contre les réchauffements extérieurs et assez considérable pour qu'au point d'arrivée la température au centre des morceaux soit encore égale ou un peu inférieure à — 4 degrés. Pour les transports lointains, mais dans ce cas seulement, la viande pourra donc être amenée à cœur à une température de 15 ou 20 degrés au-dessous de zéro ou plus bas encore, s'il est nécessaire.

La seconde question qui a donné lieu à de nombreuses controverses est la suivante:

La congélation doit-elle être opérée d'une façon lente, progressive et méthodique à l'aide de températures modérées ou, au contraire, doit-elle être brusque et obtenue d'une façon rapide au moyen de températures initiales aussi basses que possible?

Certains constructeurs ou industriels sont d'avis que l'action brusque des températures très basses a pour résultat la destruction rapide des fibres et des tissus et que les viandes ainsi traitées se décomposent, après dégel, d'autant plus vite qu'elles ont été congelées à un degré moins élevé de température.

Des expériences très nettes et de longue durée (M. Ranvier, de l'Institut) ont démontré que pour des viandes prises dans des lots différents, l'un frappé à basse température, l'autre simplement conservé à — 5 degrés, la modification des fibres musculaires était la même et qu'elle n'était pas plus grande après six mois de conservation que pour des viandes congelées seulement depuis huit jours. Dans tous les cas, la substance musculaire striée des faisceaux primitifs présentait des fractures transversales (fragments de 0 m. 06 à 0 m. 20), mais l'enveloppe des faisceaux ou sarcolemme n'offrait aucune

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

solution de continuité. L'influence de ces modifications sur les qualités nutritives et la valeur commerciale semble d'ailleurs peu marquée puisque chaque jour la consommation de viandes congelées prend chez nos voisins d'outre-Manche des proportions de plus en plus grandes.

Ainsi, au seul point de vue immédiat de la durée et de l'efficacité de la conservation, il semble à peu près indifférent d'employer des froids modérés ou des froids intenses.

Cependant il y a lieu de faire remarquer que, puisque la période de congélation proprement dite commence à — 1 degré et finit à — 4 degrés, aucune modification, aucune altération des fibres n'est à craindre tant que cette température n'est pas atteinte à la surface des morceaux. Rien ne s'oppose donc à ce qu'au début les températures initiales de la chambre soient aussi basses que possible, de façon à combattre énergiquement l'élévation de température due au dégagement de la chaleur vitale des viandes. Il y a donc tout intérêt, pour aller vite, à refroidir fortement, à *frapper* les viandes dès leur introduction dans la chambre frigorifique.

Dès que la couche superficielle de la viande est congelée, la congélation doit se propager par couches successives, d'une façon lente et progressive, à l'intérieur de la viande [1]. La conductibilité de la viande est très faible et forme un obstacle puissant à la transmission du froid à l'intérieur des morceaux. De plus, lorsqu'une couche se congèle, elle dégage une quantité relativement importante de chaleur latente qui correspond à sa solidification et surtout à celle de l'eau qui y est contenue. Ce dégagement de chaleur constitue un nouvel obstacle à la rapidité de la congélation, car il faut que la chaleur dégagée ait été transmise aux couches voisines, et par elles au milieu environnant, avant que le reste de la masse puisse se solidifier. La chaleur latente combat donc l'apport de froid de l'extérieur en réchauffant soit les parties déjà congelées, soit les parties centrales non encore congelées.

Un refroidissement énergique est donc encore nécessaire durant toute la période de congélation pour compenser l'augmentation de température due à l'absorption de la chaleur latente.

Enfin des expériences comparatives ont permis de constater que la congélation peut se produire dans une chambre à — 4 degrés, mais que si la température de — 1 degré à cœur est atteinte au bout de 58 heures environ, celle de — 4 degrés n'est obtenue qu'au bout de 11 jours.

Cette période semble assez longue pour que, dans certains cas, avec des viandes dont la fermentation est déjà commencée ou dans une atmosphère humide, il puisse se produire des altérations au cœur de la masse malgré l'exposition des morceaux dans une température basse.

[1] Le phénomène doit être analogue à celui de la formation des pains de glace dans les mouleaux. MM. Rouart ont constaté, par exemple, que l'épaisseur de glace formée au bout de la première heure était de 14 millimètres; elle n'est plus que de 8 millim. 5 après la troisième heure; 6 millimètres après la cinquième; 4 millimètres après la septième.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En outre, les mêmes expériences ont démontré que lorsque la viande est amenée très lentement à l'état congelé dans une température modérée, la dessiccation lente de la surface produit une sorte de boucanage qui fait prendre à la couleur rose ou rouge vif des parties extérieures une teinte plus foncée qui, au dégel, ne redonne plus la couleur primitive. Ce changement d'aspect extérieur ne se produit pas quand les viandes sont soumises à des températures très basses.

Pour toutes ces raisons et principalement la mauvaise conductibilité de la viande et la lenteur avec laquelle elle se refroidit, il semble indispensable de *frapper* les viandes à congeler, c'est-à-dire de les mettre en contact avec de l'air convenablement desséché et refroidi à une température beaucoup plus basse que celle de la congélation, aussi peu élevée que possible sans entraîner toutefois une diminution trop considérable du mouvement de la machine.

La congélation peut s'opérer dans une atmosphère renouvelée ou confinée. Dans le premier cas, l'opération est plus rapide, mais la perte de poids un peu plus grande. La seconde méthode ne peut guère s'appliquer qu'à de faibles quantités de viandes. Toutes les fois qu'il s'agit d'un lot important à congeler, l'air du milieu devra être soumis à une circulation continue.

Le temps nécessaire pour congeler les viandes à cœur est assez variable; il dépend notamment de la composition de ces viandes, de l'épaisseur des morceaux, de la température des chambres d'exposition, du rapport qui existe entre l'importance du lot à congeler, la capacité des chambres et la puissance frigorifique des machines, etc.

Dans une alvéole de faible dimension dont l'atmosphère confinée était refroidie à la température de — 19 à — 23 degrés, un quartier de viande, pris à 14°,5, a pu en 30 heures être amené à — 5 degrés à cœur, en 38 heures à — 11 degrés. La perte de poids constatée a été de 0,5 p. 100.

Dans une caisse hermétiquement fermée et isolée un morceau de viande de 3 kilogrammes a pu être amené à cœur de + 14 degrés à — 5°,5 en 12 heures. Cette caisse était refroidie à — 18 degrés par un courant rapide d'air refroidi et desséché sur du coke arrosé par une solution de chlorure de calcium à — 24 degrés. La perte de poids a été de 1 p. 100.

Dans une autre expérience un quartier de bœuf placé dans une chambre refroidie à — 16 degrés par amenée d'air directe a mis 50 heures pour descendre à cœur à — 2°,25.

Mais, si au lieu de traiter un quartier ou un demi-bœuf, il s'agit de congeler un lot déjà assez important (2,000 kilogrammes par exemple), l'opération est beaucoup moins rapide, car l'apport de chaleur est beaucoup plus considérable.

L'expérience a démontré que dans ces conditions et dans une chambre refroidie primitivement à — 8 ou même — 15 degrés sans renouvellement d'air, il faut environ 70 heures pour amener à — 1 degré à cœur un demi-bœuf. Le thermomètre indicateur reste stationnaire à — 1 degré pendant un temps très long et ce n'est qu'au moment

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où l'atmosphère de la chambre est renouvelée et où la température de la chambre s'abaisse à — 20 ou — 25 degrés qu'il recommence à descendre assez rapidement [1].

Il semble permis d'affirmer que dans de bonnes conditions de travail et dans une chambre de capacité moyenne (40 à 50 mètres cubes) refroidie entre 20 et 25 degrés au-dessous de zéro et remplie de viande, la congélation à cœur à — 6 degrés peut être obtenue pour un demi-bœuf en 45 ou 65 heures suivant la température initiale de la viande, la valeur de l'isolement des parois et la puissance d'échange du frigorifère.

Il paraît d'ailleurs y avoir intérêt, dans le cas d'une production journalière déterminée et importante, à réduire à 48 heures au maximum la durée de la congélation afin de ne pas être amené à augmenter la capacité des locaux où se pratique cette opération. Dans ce cas l'apport du froid doit être assez considérable et le renouvellement de l'atmosphère de la chambre au contact du frigorifère assez énergique pour maintenir d'une façon aussi constante que possible la température ambiante entre — 20 et — 25 degrés.

La quantité de frigories nécessaire en pratique pour déterminer la congélation à cœur d'un kilogramme de viande n'a pas encore été déterminée au moyen d'expériences précises.

Théoriquement, si l'on admet que la viande de bœuf contienne au maximum 55 p. 100 d'eau et 45 p. 100 de graisses et de tissus azotés, et si l'on admet comme chaleur spécifique pour ces dernières substances le chiffre de 0,5, l'on pourrait calculer qu'un kilogramme de viande, pour passer de + 20 degrés à — 6 degrés, exigerait 65 frigories environ.

En pratique industrielle, on peut admettre que pour tenir compte des pertes par les parois des locaux, de l'imperfection des échangeurs de température, des rentrées d'air chaud extérieur, etc., il y a lieu de doubler ce chiffre et de tabler sur une dépense de 120 à 140 frigories par kilogramme de viande congelée. Ce chiffre concorde d'ailleurs avec le résultat obtenu dans diverses usines américaines de grande importance dans lesquelles la consommation de charbon s'élève à 1 kilogramme par 10 kilogrammes de viande congelée.

Après congélation, les viandes peuvent être conservées pendant un temps indéfini dans des chambres maintenues à — 4 degrés. L'expérience a démontré que dans ce cas le renouvellement de l'atmosphère des locaux ou son maintien à l'état stagnant a peu d'importance au point de vue de la conservation, à la condition toutefois que *cette atmosphère soit entretenue dans un état de sécheresse parfaite* et que l'abaissement de température soit toujours suffisant pour maintenir les morceaux congelés à cœur. La moindre

[1] Il semble qu'il y ait une certaine analogie entre ce phénomène et celui de la surfusion. Dans l'expérience de Gay-Lussac une masse d'eau, dont la surface extérieure était protégée par une couche d'huile, a pu être amenée à — 12 degrés à l'état liquide dans un vase soustrait à toute cause d'agitation. En faisant vibrer le vase, l'eau se congelait immédiatement.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trace d'humidité peut favoriser le développement des végétations cryptogamiques à la surface des viandes conservées.

Une bonne précaution à prendre en vue de leur conservation ultérieure consiste à envelopper les quartiers de bœuf ou les moutons, avant ou après la congélation (ce dernier mode est suivi par certains établissements de l'Amérique du Sud), d'une chemise en cotonnade ou en mousseline grossière qui a pour but d'éviter à la surface des viandes, soit la condensation de l'humidité de l'air à la sortie des chambres de congélation, soit la chute de gouttes d'eau dans les chambres de conservation refroidies par des serpentins, soit le dépôt des graisses entraînées par l'air dans le cas où l'on emploie des machines à air, et, enfin, de protéger la surface des morceaux, pendant les manipulations diverses à l'intérieur des entrepôts et au départ et à l'arrivée lors des transports, contre les poussières et germes de l'air et tous les réchauffements dus à des causes extérieures. La viande conserve ainsi sa belle apparence.

Dans les chambres de congélation, les viandes fraîches sont suspendues à raison de 100 kilogrammes environ au mètre cube utile (soit 3 à 4 moutons par mètre cube). L'emmagasinage du bœuf en quartiers favorise la rapidité de la congélation, la surface d'échange devenant plus considérable que lorsque la viande est logée en demi-bœufs.

Dans les entrepôts de conservation, les viandes congelées rendues inertes peuvent être emmagasinées en vrac, c'est-à-dire les morceaux empilés les uns sur les autres, de façon à occuper le moindre emplacement possible. Dans ces conditions on peut loger facilement 300 à 350 kilogrammes de viande par mètre cube de capacité totale (12 à 15 moutons) et 450 à 500 kilogrammes par mètre cube de capacité utile, un tiers environ du cube total étant réservé pour les accès, couloirs de service, etc.

Ces magasins de conservation restant fermés, sinon totalement, au moins pendant la plus grande partie de la journée, il suffit pour les entretenir à — 4 degrés de compenser les pertes de froid dues aux ouvertures des portes et à la conductibilité et au rayonnement de leurs parois isolantes. La viande ne subit dans cette atmosphère confinée qu'une dessiccation très lente, la tension de vapeur d'eau à ces températures étant très faible. D'après certaines expériences la perte de poids après 200 jours de conservation ne serait pas supérieure à 6 p. 100.

La viande congelée, lorsqu'elle est frappée, rend un son sec; elle est dure et doit être coupée à la scie; à sa sortie de l'entrepôt frigorifique il importe de la laisser se dégeler avant de la débiter au couteau. Ce dégel ne peut s'effectuer sans certaines précautions spéciales, car la surface de la viande à basse température et amenée dans un local chaud et humide peut devenir le siège d'une condensation abondante de la vapeur d'eau en suspension dans l'air.

Le même phénomène se produit avec une intensité un peu moindre pour les viandes simplement conservées au-dessous de 0 degré. Mais il a pour effet de les rendre très rapidement molles et facilement altérables; cependant on peut leur assurer une durée de conservation à l'air libre au moins égale à celle des viandes non frigorifiées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les viandes congelées, il a été constaté que, placées dans les mêmes conditions, elles se conservent toujours mieux et plus longtemps que les viandes fraîches, car elles bénéficient pour leur conservation de tout le temps qui leur est nécessaire pour se mettre en équilibre de température avec l'air ambiant, et le dégel se produit d'autant plus lentement, en raison de la conductibilité très faible de la viande, que la température du centre des morceaux est plus basse, comme c'est le cas pour les transports.

Un quartier de bœuf congelé à — 11 degrés exige environ 24 heures pour regagner la température de — 2 degrés, à cœur, dans un local à + 6°,5. Cette durée peut être triplée avec une température ambiante de + 20 degrés quand la viande est recouverte d'une couche de paille ou de sciure (150 millimètres).

Certains industriels recommandent, pour opérer la décongélation en toute sécurité, de faire séjourner les viandes congelées dans une chambre spéciale dite de transition où elles regagnent peu à peu la température de l'air extérieur. Les viandes peuvent être, dans cette chambre, soit refroidies à une température supérieure à celle des locaux de conservation, mais qu'on relève progressivement au fur et à mesure que le dégel avance en maintenant toujours l'atmosphère desséchante, soit réchauffées dans une chambre chaude comme le font MM. Sansinena. Dans ce dernier cas, les quartiers ou moutons sont suspendus à la face inférieure d'un plateau monté sur un arbre vertical animé d'un mouvement de rotation; chacune des pièces est ainsi successivement exposée à l'action d'un courant d'air chaud lancé par un ventilateur qui enlève d'une façon continue la vapeur d'eau qui se dépose ou le givre qui fond à la surface des viandes à mesure que le dégel s'opère.

Des expériences précises permettent d'affirmer que si cette pratique est nécessaire avec les viandes refroidies par l'air froid direct produit par une machine à air, viandes dont la surface est quelquefois couverte d'une très légère couche de givre, elle n'est pas nécessaire dans tous les autres cas et qu'il suffit que les viandes à — 4 degrés soient exposées dans un local sec à température modérée (10 à 20 degrés) et à l'ombre pour que le dégel se produise lentement (18 heures pour le bœuf, 10 pour le mouton), et qu'elles puissent conserver absolument toutes les qualités de la viande fraîche (aspect, saveur, odeur) encore 72 heures après leur sortie de l'entrepôt. Le moment où la cuisson doit être opérée semble caractérisé par un léger suintement du liquide séreux qui constitue le suc de la viande.

Que la viande doive être conservée ou non à l'état congelé, il importe pour réduire la dépense de froid de ne l'introduire dans les chambres frigorifiques qu'un certain nombre d'heures après l'abatage (12 à 24), lorsqu'elle a perdu sa chaleur vitale et atteint le moment où apparaît la rigidité cadavérique, mais toujours avant que la moindre fermentation ait pu se déclarer. Les animaux doivent être complètement saignés et épongés avec des serviettes bien propres et jamais soufflés.

Telles sont aujourd'hui les diverses méthodes employées et les règles à peu près

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

généralement admises dans l'application du froid artificiel à la conservation des viandes.

Un volume entier serait nécessaire pour décrire les principaux entrepôts frigorifiques mis en fonctionnement depuis dix ans en France et surtout à l'étranger. Il nous suffira de dire que tous les procédés indiqués au chapitre « Production et transmission de l'air froid » peuvent être utilisés pour le refroidissement des locaux de conservation et ceux de congélation, s'ils donnent des températures suffisamment basses, mais ceux-là doivent toujours être préférés qui sont susceptibles de maintenir l'atmosphère dans un état de sécheresse parfaite.

L'emploi de la glace est fort ancien, mais il présente l'inconvénient d'humidifier l'air et de ne procurer que des températures de 2 à 4 degrés assez peu régulières (Glacières de Bruxelles). Ce procédé n'est guère applicable que pour des conservations de courte durée (8 à 15 jours) et encore à la condition que toutes les précautions soient prises pour éviter tout contact de l'air avec la glace. A l'entrepôt d'Altona, par exemple, l'air des chambres est refoulé par un ventilateur à travers une série de tubes noyés dans un amas de glace.

Le réfrigérateur Wicke, installé par les soins du Gouvernement des États-Unis dans les galeries agricoles du quai d'Orsay, était basé sur ce procédé. Une chambre hermétiquement close était refroidie par de l'air mis en contact à travers une grille en fer galvanisé avec de la glace enfermée dans quatre caisses métalliques placées une à chaque extrémité et deux au milieu du local. L'eau de fusion était recueillie dans des gouttières placées à la base des parois et soustraite au contact de l'air.

Le système de refroidissement par serpentins est beaucoup plus répandu; il est adopté presque exclusivement dans les entrepôts de l'Amérique du Nord où les serpentins sont le plus souvent à circulation directe d'ammoniac, à ailettes et disposés en plusieurs faisceaux le long des parois verticales de façon à éviter la chute du givre sur les viandes. Quand les faisceaux sont suspendus au plafond, ils sont pourvus de gouttières destinées à empêcher la chute du givre sur les denrées et à l'évacuer au dehors. Dans les entrepôts de conservation à très courte durée la ventilation est nulle.

Ce dernier mode de refroidissement est adopté pour les salles d'entreposage d'Anvers (Linde) et de Wiesbaden (circulation de chlorure), de Saint-Chamond (circulation d'ammoniac, installation Imbert frères). L'entrepôt de Genève (Cie Pictet) est refroidi par circulation de l'air, au contact d'une pluie de chlorure et de serpentins, dans une chambre froide ménagée au-dessus de la chambre de conservation (Entrepôt Velly, à Paris). La chambre froide des salles de conservation à — 6 degrés de l'entrepôt d'Anvers comprend 5 à 6 kilomètres de serpentins.

Les salles de l'entrepôt de Brême sont pourvues d'une circulation d'air refroidi à l'aide d'un frigorifère à hélice, système Osenbrück. Celles des Docks de la Mersey, à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Liverpool, comportent un frigorifère à disques rotatifs de Linde; celles des Victoria Docks, de Londres, un frigorifère à tubes en U de Chambers; l'entrepôt militaire de Billancourt est refroidi par un jeu de toiles métalliques du système Rouart.

Les machines Hall sont employées en France dans les entrepôts du Havre (2,000 moutons [1]), de Dunkerque, de Pantin (Sansinena et Cie); en Angleterre, aux Docks de Liverpool (25,000 moutons), de Sainte-Catherine, à Londres (44,000 moutons), etc., et dans de nombreuses installations en Amérique. La petite chambre du pavillon de la République Argentine avait une capacité utile de 32 mètres cubes et pouvait contenir 400 moutons empilés. La température y était abaissée le soir à 18 degrés au-dessous de zéro.

La machine et le frigorifère Fixary sont employés aux abattoirs de Crefeld, aux halles de Bruxelles et à l'entrepôt de Lisbonne.

La Société des constructions mécaniques spéciales avait établi à l'Esplanade des Invalides (classe 66) une chambre frigorifique de 50 mètres cubes de capacité. Cette chambre était refroidie par un frigorifère à trois serpentins alimenté par une machine verticale du type de 50 kilogrammes de glace à l'heure, actionnée elle-même par un moteur Otto. Des expériences ont été faites dans ce local par la Chambre syndicale de la boucherie de Paris sur 4 moutons et un quartier de bœuf. Il résulterait de ces expériences que le mouton peut se conserver pendant 40 jours environ lorsqu'il est exposé à une température variant de + 0 à + 4 degrés, et le bœuf 30 jours, la perte en poids étant de 5 à 6 p. 100. Après 2 mois et demi, la couche superficielle serait altérée, on devrait l'enlever sur une épaisseur de 1 millimètre. Il est à noter que dans ces essais certains lots avaient subi un commencement de congélation.

MM. Rouart exposaient dans la classe 50 un spécimen de chambre frigorifique et une caisse réfrigérante dans laquelle des viandes ont été conservées. Nous en parlerons au chapitre traitant des transports.

Ces constructeurs ont imaginé également, pour opérer rapidement la congélation de grandes quantités de viandes, de disposer une série de longs couloirs ou tunnels à parois isolées et refroidis par une ceinture complète de serpentins à circulation d'ammoniac ou de liquide incongelable ou par une amenée d'air à basse température. Dans ces couloirs sont logés des chariots chargés des viandes à congeler et placés les uns à la suite des autres.

Le refroidissement s'opère en sens inverse de la circulation des chariots; il est donc méthodique. Dès que la viande du premier chariot est congelée, on sort ce chariot à l'une des extrémités du tunnel et on avance les autres de façon que les viandes déjà refroidies se trouvent exposées à des températures de plus en plus basses.

Il nous a paru intéressant de donner, d'après les renseignements du Commissariat

[1] Cet établissement, établi dans les hangars de la Compagnie des chargeurs réunis (bassin Bellot), a été détruit récemment par un incendie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

général à l'Exposition de 1889 [1], quelques indications sur les méthodes de conservation usitées aux États-Unis d'Amérique où la moindre ville possède aujourd'hui son entrepôt frigorifique.

Aussitôt la tête de l'animal tranchée, on passe une chaîne autour des pieds de derrière et l'animal hissé est suspendu à une barre d'acier au-dessous de laquelle est placée une gouttière de bois dans laquelle le sang s'écoule. La perfection du système suivi pour saigner les animaux est un détail important de l'abatage. Toutes les artères du cou étant coupées et l'animal étant accroché le cou en bas tandis que la circulation est encore chaude et active, il est impossible que le sang se coagule dans le corps comme il arriverait si la bête restait couchée sur le sol jusqu'à ce qu'elle fût à moitié écorchée et en partie préparée.

Quand le corps est parfaitement égoutté, on le fait glisser sur la barre d'acier jusqu'à l'endroit où il doit être parfaitement dépouillé. Là on le place sur le dos et on le fend depuis le sternum jusqu'au bas. La peau est détachée des côtes, la graisse de la coiffe enlevée. On raccroche ensuite l'animal à la barre; l'estomac, les intestins, etc., sont retirés, la peau enlevée, puis il est fendu sur le dos et partagé en deux.

Ces deux parties du bœuf sont transportées sur des chariots dans une autre partie de l'abattoir où la chair est parfaitement lavée à l'intérieur et essuyée à l'extérieur avec un linge sec et propre. Après cela, on laisse l'animal dans la pièce qui précède la chambre frigorifique jusqu'à ce que sa chaleur se soit éteinte peu à peu. On le fait passer alors dans la chambre frigorifique où il reste 24 ou 48 heures, selon son poids. La plus grande fabrique possède 4 chambres pouvant contenir chacune 900 corps. Une température uniforme de + 3 degrés est maintenue dans ces chambres au moyen de saumure glacée artificiellement que de puissantes machines lancent dans des tuyaux placés tout autour de la pièce.

Entre les salles froides et la plate-forme où sont amenés les wagons se trouve la salle d'expédition. La viande, après y avoir été partagée en quartiers, est soumise à une sévère inspection avant le départ.

On peut se faire une idée de l'importance qu'a prise à Chicago l'industrie du bœuf conservé par le froid dit « préparé » par le chiffre des affaires de quelques maisons.

Dans l'année 1888, MM. Armour et Cie ont abattu, pour être transformées en bœuf préparé, 561,000 têtes de bétail. Cette maison possède un entrepôt desservi par 14 machines de 1,800 kilogrammes de glace chacune (force totale 2,000 chevaux). MM. Swift et Cie ont employé 484,000 bœufs, et la Société Hammond dressed Beef and Co 220,000.

Ce bœuf préparé est celui dont la température est suffisamment abaissée pour une conservation d'une durée de trois semaines.

[1] *Industrie de la viande aux États-Unis*, par H. C. Clarke.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les établissements de la République Argentine et de la Nouvelle-Zélande qui préparent des viandes pour l'exportation et principalement des moutons, les animaux abattus et dépouillés sont, dans les entrepôts les mieux outillés, suspendus à des crochets portés par des galets qui glissent sur des rails fixés au plafond et permettent, au moyen d'un aiguillage, de les transporter dans une salle quelconque. On les amène dans une chambre rafraîchissante où un ventilateur détermine un courant d'air assez vif qui enlève aux viandes la majeure partie de leur chaleur vitale. Cette chambre est quelquefois refroidie dans le voisinage de zéro (+ 2 ou — 4 degrés); les animaux y séjournent de 10 à 24 heures, suivant l'importance du lot traité et suivant qu'il s'est écoulé ou non un certain temps après le moment de l'abatage.

Dès que les animaux sont suffisamment refroidis, on les emmagasine en vrac dans les chambres de congélation divisées en cellules qui contiennent chacune de 200 à 400 moutons. La température de la chambre varie ordinairement, suivant les établissements, de — 12 à — 20 et même — 30 degrés si le froid est produit par des machines à air. Les viandes restent dans ces chambres de 48 à 24 heures, suivant le degré de la température ambiante, et passent ensuite dans des magasins de conservation entretenus entre — 7 et — 12 degrés où ils attendent le moment d'être embarqués et achèvent de se congeler à cœur.

Les animaux sont enchemisés, soit avant la période de congélation, soit avant la mise en conservation. Pour les moutons, le prix moyen du kilogramme congelé et rendu à bord est d'environ 0 fr. 15.

Certaines usines du Rio-Parana et de la Nouvelle-Zélande congèlent ainsi de 1,000 à 1,500 et 1,600 moutons par jour.

Nous n'insisterons pas sur les avantages incontestables que présentent les entrepôts frigorifiques pour les bouchers et les négociants en denrées alimentaires, principalement dans les villes où les marchés sont rares et où la consommation journalière n'offre pas toujours de débouchés suffisants pour la vente de toute la viande fraîchement abattue. L'utilisation des chambres frigorifiques permet aussi au négociant de profiter des bas cours pour faire des approvisionnements plus considérables sans avoir à s'inquiéter de la durée de leur conservation.

L'application du froid à la conservation des viandes peut également rendre des services appréciables pour le ravitaillement des places fortes et celui des armées en campagne. Elle permettra : 1° de réduire les troupeaux, et, par suite, d'éviter les agglomérations, les dépérissements, les épizooties; 2° de restreindre l'étendue des parcs et des hangars, les frais de parcage et de gardiennage; 3° de diminuer les approvisionnements de fourrages en temps de paix; 4° de réaliser l'utilisation immédiate des issues, suifs, graisses, etc.

L'Administration de la Guerre est, d'ailleurs, résolument entrée dans cette voie, et elle a dû, à cet effet, la première en France, faire l'étude complète et approfondie des méthodes de conservation des viandes par le froid, exécuter sur une grande échelle les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

expériences les plus variées et déterminer les conditions nécessaires et suffisantes à réaliser pour le transport des viandes congelées.

On ne peut que souhaiter que les préjugés qui existent en France au sujet des qualités comestibles et nutritives de la viande congelée disparaissent au plus tôt devant les résultats acquis et les habitudes déjà prises à l'étranger, et que l'importation des viandes exotiques (particulièrement celles des colonies françaises) prenne dans notre pays une importance aussi considérable qu'en Angleterre où elle permet, depuis une dizaine d'années, aux classes pauvres de trouver à bon marché une nourriture plus saine et plus abondante.

Les entrepôts frigorifiques peuvent servir, d'ailleurs, à la conservation de toutes les denrées alimentaires quelles qu'elles soient, poissons, gibiers, fruits, légumes, beurres, fromages, etc., etc., qu'on y loge, soit en caisses ou en tonneaux, soit sur des étagères et quelquefois en vrac. Les fruits et légumes se conservent dans le voisinage et au-dessous de zéro; le gibier et les poissons demandent des températures plus basses, — 2 à — 6 degrés. Dans ces entrepôts, chaque nature de denrée a sa chambre ou au moins sa cellule de conservation spéciale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TRANSPORT DES DENRÉES ALIMENTAIRES FRIGORIFIÉES.

L'importation en Europe des bœufs et moutons de la Plata, de la République Argentine, de l'Australie, etc., a été, il y a environ une vingtaine d'années, l'objet de tentatives nombreuses, mais ce n'est réellement que depuis 1879 qu'elle est entrée dans la voie de la réalisation pratique et qu'elle a pris un développement qui, à notre époque, est considérable.

Il était d'ailleurs tout naturel de penser à mettre à contribution les contrées où les pâturages sont abondants, les troupeaux innombrables et le bétail peu cher au profit des pays où les faibles ressources produites par un élevage restreint ont pour conséquence l'augmentation du prix de la denrée.

D'autre part, la substitution du transport des viandes mortes à celui des animaux vivants présentait d'énormes avantages dont l'importance fut rapidement appréciée par les importateurs. Elle permet en effet d'éviter les pertes de qualité et de poids des animaux pendant la traversée, par suite du changement de nourriture et des maladies, écarte les dangers d'épizootie, réduit les dépenses de gardiennage ainsi que les frais de transport en supprimant celui des issues, des abats et des fourrages destinés soit à la nourriture, soit à la litière des animaux, toutes matières qui formaient un poids mort considérable.

Les premiers transports des viandes d'Amérique en Angleterre furent exécutés en 1873 par M. Eastmann, de New-York. Le procédé consistait simplement à disposer dans la cale du navire les quartiers de bœuf ou les moutons entiers provenant de l'abatage et à refroidir ces viandes en route par un courant d'air à 0 degré environ qu'un ventilateur faisait circuler sur des récipients contenant de la glace naturelle recueillie dans les étangs.

Les résultats obtenus furent assez satisfaisants et le nombre des imitateurs assez grand pour qu'après quelques années d'exploitation la quantité de viandes importées s'élevât de 320 à 13,000 tonnes.

Mais ce procédé, applicable à une traversée de courte durée, présentait de nombreux inconvénients : la quantité de glace emmagasinée devait être assez considérable, les réchauffements de température étaient difficilement combattus, la température des cales était loin d'être uniforme et leur atmosphère sensiblement humide.

Pour de plus longs parcours, pour le transport des viandes de l'Amérique du Sud par exemple, qui nécessitait le passage de l'équateur où la viande fraîche se corrompt en six heures, ces moyens furent reconnus totalement impraticables et l'on dut avoir recours à l'emploi des machines frigorifiques, susceptibles de produire en tout temps des températures régulières bien inférieures à 0 degré.

La première application de ce genre semble avoir été réalisée, pour la France du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins, sur le bateau *le Frigorifique* aménagé sous l'inspiration de M. Tellier à la suite des expériences suivies à Auteuil par l'Académie des sciences.

L'on sait que, parti de Rouen le 20 septembre 1876 avec une cargaison de bœufs et de moutons, ce navire arrivait à Buenos-Ayres après une traversée qui primitivement devait être de 40 jours et fut en réalité de 105, à cause du mauvais temps et d'une explosion de chaudière qui le retint assez longtemps à Lisbonne. Malgré ce mécompte, la viande refroidie entre 0 degré et — 1 degré par trois machines à éther méthylique, fut trouvée à son arrivée en bon état de conservation, saignante et savoureuse. Il n'en fut pas de même de la cargaison de retour, composée de viandes de la Plata. Quelques-unes des viandes, trop dures et provenant d'animaux sauvages et de plus malencontreusement exposées dans une atmosphère humide, se conservèrent mal et furent trouvées de qualité inférieure à la nôtre, tandis que la seconde partie du chargement, mieux entretenue et de meilleure provenance, parut de qualité équivalente. Le succès de l'expérience donna lieu à de nombreuses contestations.

L'entreprise, reprise par les Sociétés du Paraguay et des Deux-Mers à l'aide des machines Carré, donna lieu à de nouveaux mécomptes et finalement fut abandonnée.

Ces divers procédés, par l'emploi de la glace ou de frigorifères à températures modérées, avaient d'ailleurs l'inconvénient de nécessiter de très grandes capacités, l'emmagasinage des viandes devant se faire en quartiers isolés afin d'éviter tout contact qui eût pu déterminer des échauffements préjudiciables à la conservation. De plus l'amenée et le maintien à 0 degré des viandes emmagasinées fraîchement abattues entraînaient une dépense de froid assez considérable et, par suite, l'emploi à bord de machines puissantes et encombrantes. Enfin la température maintenue dans les chambres de conservation n'était pas suffisamment basse pour assurer le chargement contre toute détérioration pouvant provenir, soit d'une température extérieure exceptionnellement élevée, soit d'un accident ou d'un arrêt des machines.

Mais les procédés de conservation des viandes par congélation allaient bientôt modifier profondément les conditions des transports par mer. Tandis qu'en France les essais précédents étaient abandonnés, en Angleterre, l'importation des viandes prenait un essor chaque jour plus remarquable et les premiers navires installés par MM. Bell-Coleman transportaient 43,000 tonnes de viandes congelées et cela pendant une période de cinq ans seulement (1879-1884).

Les viandes congelées à terre dans les pays producteurs sont transportées en Europe par des navires spécialement aménagés à cet effet. Les cales sont aujourd'hui de véritables chambres frigorifiques avec cloisons isolantes généralement en bois dont les vides intervallaires sont remplis de charbon de bois pilé (0 m. 200 à 0 m. 250 d'épaisseur); la distribution du froid ne présente aucune disposition spéciale.

Le froid est produit à bord à l'aide de machines à air presque toujours. Nous avons indiqué plus haut les raisons qui font dans ce cas préférer ces dernières aux machines à vapeurs liquéfiables. Depuis quelque temps cependant les machines à acide carbonique,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les moins encombrantes de toutes les machines à gaz liquéfiés, souvent même moins encombrantes que les machines à air et fonctionnant avec les plus faibles volumes de liquide en donnant des froids très intenses, sont utilisées dans le même but. MM. Nelson et Cie, importateurs à Londres de viandes de la Nouvelle-Zélande, possèdent plusieurs navires pourvus de machines Windhausen [1]. A égalité d'effet produit, l'économie réalisée par l'emploi de ces dernières, constatée très soigneusement dans les derniers voyages effectués, serait considérable (75 p. 100).

Les viandes destinées à l'exportation sont le plus souvent introduites congelées à basse température dans les cales. Grâce à ce système la seule dépense de froid consiste dans l'entretien de celles-ci à la température de conservation (— 8 degrés en moyenne, quelquefois — 12 degrés) et il suffit de compenser les pertes par les parois. Les machines ont dans ce cas une puissance relativement faible et leur encombrement est réduit. Les bœufs en quartiers et les moutons entiers sont enchemisés, puis empilés en vrac de façon à réaliser le maximum d'utilisation des capacités disponibles en ne réservant que des couloirs de très faible largeur pour la visite; quelquefois même ces couloirs sont entièrement supprimés.

Dans certains cas, la congélation se fait à bord même des navires, comme par exemple sur le *Selembria* qui peut porter un chargement de 900 tonnes de viandes congelées sur le vapeur même. Les quatre machines Hall employées produisent 8,000 mètres cubes d'air froid à l'heure.

Les cales de ces navires contiennent ordinairement 250, 300, 500 et jusqu'à 900 tonnes de viande et quelquefois davantage (1,400). Le navire *Fifeshire*, installé par M. Lightfoot, peut transporter par voyage 30,000 carcasses de moutons de la Nouvelle-Zélande pesant chacune de 30 à 32 kilogrammes. La Compagnie d'Anchorline a transporté en Angleterre, de 1882 à 1884, 7,000 tonnes de viande congelée.

Le nombre de navires ainsi aménagés pour le transport en Europe des viandes exotiques atteint aujourd'hui un chiffre très élevé, qui ne laissera pas que de surprendre l'opinion publique en France. Il est d'environ 130 pour la maison Haslam et Bell-Coleman et de 85 pour la maison Hall. Celle-ci a exécuté également une dizaine d'installations du même genre avec des machines à acide carbonique.

Les machines à air ont inspiré aujourd'hui une telle confiance que l'on n'hésite pas par exemple à confier à une seule machine Hall n° 12 la conservation d'un chargement de 1,400 tonnes. Et cependant un arrêt de vingt heures dans la zone tropique suffirait pour rendre inutilisable toute la cargaison. Le navire *Maori King* (de la Compagnie Tyser Line limited) a débarqué récemment à Londres un chargement de cette importance. Un navire semblable est en construction; il sera suivi dans quelques mois

[1] Le steamer Highland Chief transporte par voyage 39,000 carcasses de moutons et 2,000 quartiers de bœufs refroidis par des machines à acide carbonique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'un troisième qui transportera 1,600 tonnes de viande par voyage. L'ensemble des machines Hall montées sur navires pourrait assurer une importation annuelle de 40,000 tonnes de viandes congelées.

La Société Sansinena et Cie, de Buenos-Ayres, dispose, pour ses transports de moutons de la République Argentine, de dix steamers dont six appartiennent à la Compagnie des Chargeurs réunis.

Le commerce des viandes congelées a pris en Amérique, et principalement aux États-Unis, une importance si considérable que les industriels ont été amenés à créer un matériel complet de wagons spéciaux destinés au transport des viandes des centres de congélation et de préparation, comme Chicago et Saint-Louis, aux centres de consommation beaucoup plus nombreux et plus disséminés, quelquefois situés à de très longues distances comme New-York où le commerce de la boucherie de viande fraîche n'existe pour ainsi dire plus.

Ainsi la Compagnie *Merchant's Dispatch Transportation* possède environ 2,500 wagons de ce genre en exploitation sur les nombreuses lignes du réseau des États-Unis et du Canada. Un wagon-glacière de ce genre (type breveté par Wicke) était exposé par elle dans le Palais des Machines; il était aménagé comme le réfrigérateur du même nom installé dans la section agricole des États-Unis.

Ces wagons réfrigérants ont 9 mètres de longueur sur 2 m. 50 de large et plus de 2 mètres de hauteur entre le plancher et les barres de suspension des viandes préalablement débitées en quartiers. Un espace de 0 m. 35 est réservé entre ces barres et le toit. Les crochets sont suffisamment distants les uns des autres pour que l'air puisse circuler librement autour des morceaux; les quartiers de derrière sont accrochés à une extrémité du wagon et ceux du devant à l'autre bout.

Chaque wagon contient environ 30 bœufs de premier choix pesant chacun 325 kilogrammes. Sur le toit du wagon sont placés quatre réservoirs ou davantage contenant chacun deux tonnes d'un mélange de glace concassée et de sel gris que l'on introduit et que l'on peut renouveler du dehors à certaines stations de la route par de petites trappes ménagées à cet effet. La fermeture est hermétique et les parois étanches; l'air est très rarement renouvelé; quelquefois un petit ventilateur aide à sa circulation dans le wagon et autour de la glace. La température moyenne est de + 3 degrés. Dans certains cas le transport se fait dans des doubles barils.

Six mille wagons de ce modèle, utilisés par vingt-deux compagnies, sont en service aux États-Unis, non seulement pour le transport de la viande, mais pour celui des volailles, gibiers, produits de laiterie, fruits, etc. Son isolement parfait empêche la gelée de ces derniers, en hiver, lorsqu'ils sont expédiés dans les climats les plus rudes des États du Nord-Ouest et assure la conservation en bon état de toutes les autres denrées pendant l'été.

Un grand nombre de wagons construits par différents industriels sur des bases analogues sont également employés en Amérique. La maison Armour and Co, de Chicago,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en possède à elle seule 1,800 qui font le transport des viandes frigorifiées de cette ville à New-York (1,400 kilomètres) avec 2,000 kilogrammes de glace.

Les quelques wagons appartenant à la Compagnie Sansinena qui circulent sur nos voies ferrées sont de simples wagons à marchandises de la Compagnie de l'Ouest dans lesquels on a construit une chambre à parois épaisses et isolantes. Les moutons ou quartiers de bœuf y sont empilés en vrac de façon à charger les wagons au complet. La contenance en moutons est de 6,000 kilogrammes, en bœufs de 8,000 kilogrammes. La fermeture des portes étant rendue aussi étanche que possible, la durée minima du trajet peut être dans ces conditions d'au moins quarante-huit heures. Pendant les fortes chaleurs de l'été, ou si la durée possible du trajet doit dépasser quarante-huit heures, il est nécessaire, soit de refroidir les viandes à très basse température avant de les empiler, soit d'injecter avant le départ dans le wagon, par une buse ménagée à cet effet dans les portes, une certaine quantité d'air froid sortant directement du détendeur.

Avec les wagons à marchandises couverts ordinaires, MM. Sansinena ont pu, sans précaution spéciale, réaliser des trajets d'une durée de vingt-quatre heures. Cette durée peut d'ailleurs être prolongée soit en emmagasinant des viandes très froides, soit en protégeant le chargement par des isolants (paille hachée ou non, poussière de tourbe, couverture de laine, sciure, liège, etc.) [1].

M. Coleman (1882) et M. Durand (Compagnie Sansinena, 1888) ont proposé de constituer de véritables trains frigorifiques pour le transport des viandes congelées. Le projet de M. Durand comprend une locomotive, un « wagon-machine » portant une chaudière Field à haute pression et une machine Hall, un wagon-réservoir (8 tonnes) fournissant l'eau de refroidissement au compresseur par des tubes à raccords télescopiques et un certain nombre de wagons frigorifiques. Ceux-ci portent à chaque extrémité deux raccords fixes en fonte avec filetage. Ils sont reliés les uns aux autres par des tubes flexibles à spirale métallique. Les carneaux de circulation d'air sont ménagés dans l'épaisseur des parois isolantes; l'injection se fait à la partie supérieure des wagons, la plus exposée au refroidissement. Deux vannes en bois manœuvrées par des vis à vo-

[1] L'Administration de la Guerre a exécuté en 1890 des expériences de transport de viandes congelées de bœuf et de mouton, de Billancourt à Montpellier. Les viandes, entourées de deux enveloppes en tissu soigneusement fermées, ont été expédiées en quatre lots, les deux premiers dans deux caisses garnies de sciure de bois, le troisième dans un tonneau à double enveloppe rempli de poudre de liège, le quatrième dans un vase en verre entouré d'une couche de poussière de tourbe (0 m. 25). Température de la viande au départ, à cœur — 5°,5. Durée du transport, 48 heures par un temps orageux et une température lourde (29 degrés). La poussière de tourbe a donné les meilleurs résultats comme isolant. La viande encore gelée à l'arrivée a pu être mangée 84 heures après sa sortie des chambres frigorifiques; elle a été trouvée excellente. Il semble que pour un transport lointain (48 heures) l'emploi d'une couche de tourbe suffit pour la conservation de la viande en parfait état. Dans des expériences plus récentes, un lot de viande congelé à 5 degrés à cœur a pu subir un transport de 8 jours dans une voiture recouverte simplement d'une bâche et rester exposé pendant ce temps à la chaleur (15 degrés) et à la pluie sans que sa température soit remontée à plus de + 1 degré à cœur. Ce lot était simplement protégé par une cotonnade et une légère couche de tourbe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lant et installées dans chaque wagon sur le parcours des carneaux donnent passage à l'air injecté ou évacué.

Ces tentatives sont intéressantes, mais l'expérience acquise à la suite de certains essais et les résultats des transports à longues distances pratiqués en Amérique permettent de penser qu'en aucun cas, il n'y aura lieu, pour les transports à terre, de recourir à un matériel qui a l'inconvénient d'être dispendieux et d'offrir certaines complications.

Comme transport de denrées alimentaires par wagons, nous devons citer encore le service de quarante wagons frigorifiques au moyen duquel la Compagnie Royale du Chemin de fer amène les poissons congelés des Docks de Lisbonne aux villes d'Espagne.

Les transports de bière en Autriche, en Allemagne, en Belgique, et dans l'est de la France se font aussi dans des wagons isolés refroidis par un amas de glace emmagasiné à l'intérieur.

Il faut signaler également une récente innovation de MM. Rouart frères en matière de transport de viandes. Ces constructeurs estiment que le service des machines à bord présente déjà assez de difficultés sans qu'il y ait besoin d'y adjoindre de nouveaux appareils en général assez compliqués et délicats, à quelque système qu'ils appartiennent. Ils ont alors imaginé de faire usage de la glace salée dont nous avons déjà indiqué l'emploi pour les installations à terre.

La viande, préalablement congelée à — 15 degrés ou — 20 degrés à l'aide d'appareils installés à demeure au point de départ, est enfermée dans un récipient métallique (qui peut être la cale du navire elle-même) plongé dans une cuve également métallique et qui renferme un bain d'eau salée (eau de mer si l'on veut). L'intervalle qui sépare les deux enveloppes est calculé pour donner à la glace une épaisseur et un poids aussi réduits que possible mais en rapport avec la longueur du trajet. Dans l'eau salée baigne un serpentin en fer dont l'entrée et la sortie sont placées sur deux des parois opposées de la caisse. Le tout est protégé par une enveloppe isolante. En faisant passer par le serpentin un courant de liquide froid à — 20 degrés, on convertit l'eau de mer en une véritable paroi de glace. La caisse ainsi préparée est logée à bord comme un colis ordinaire, dans un local suffisamment isolé, si c'est possible. Après chaque voyage il suffit, pour reformer la glace fondue, de faire passer à nouveau le liquide incongelable dans le serpentin. Pratiquement, pour un voyage de 30 à 35 jours à travers les pays chauds, on peut admettre qu'il faudrait 5,000 kilogrammes de glace pour transporter 5,000 kilogrammes de viande. Ce rapport du poids mort au poids utile est très élevé et semble ne pouvoir être inférieur à un quart pour des voyages de courte durée. Il constitue le principal inconvénient du système, au moins dans le cas de transports lointains et de cargaisons importantes.

Le spécimen de caisse exposé dans le Palais des Machines a été utilisé du 5 juillet au 31 octobre pour des essais de conservation de viandes. La température intérieure a constamment oscillé de — 1 degré à — 13 degrés (moyenne — 6) et exceptionnelle-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment de — 16 degrés à 0 degré pendant les 15 premiers jours de l'essai. Ces oscillations sont dues aux difficultés de toutes sortes qui se sont présentées tant par suite de la forte chaleur qui régnait à certains moments dans le Palais qu'à cause de la durée très limitée du fonctionnement journalier des machines. La viande à sa sortie de la caisse a été trouvée en parfait état de conservation et sa dégustation n'a donné lieu à aucune remarque défavorable.

Le mode de refroidissement par parois de glace salée imaginé par MM. Rouart frères semblerait devoir s'appliquer plus utilement et plus économiquement aux wagons et autres véhicules destinés au transport sur terre. Dans ce cas, en effet, à la réduction des distances et de la durée des transports correspondrait une diminution d'épaisseur de la couche de glace et de l'enveloppe isolante nécessaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EMPLOI DU FROID DANS LA FABRICATION DE LA BIÈRE.

La fabrication de la bière est, après la préparation de la glace et la conservation des viandes, l'industrie qui consomme la plus grande quantité de froid artificiel.

On sait que le moût, ou infusion de houblon et de malt faite à 100 degrés, doit être refroidi aussi rapidement que possible, pour éviter qu'il ne s'altère et devienne acide, et amené à la température de 15 à 20 degrés ou 4 à 5 degrés selon le genre de fermentation qu'il doit recevoir (haute ou basse) parce que c'est à ces températures seulement que la liqueur est prête à subir la fermentation alcoolique.

Pendant la fermentation des moûts dans les cuves guilloires, il se produit une élévation assez considérable de la température de la masse qu'il importe de combattre d'une façon aussi énergique que possible. La bière de meilleure qualité et la plus appréciée est d'ailleurs celle dont la fermentation s'opère à plus basse température (5 à 6 degrés), d'une façon lente et régulière.

Quand la fermentation principale est achevée ou tout au moins près d'être terminée, la bière est soutirée pour être transvasée ou entonnée dans les foudres logés dans les caves de garde. Cette bière subit là une fermentation secondaire et tertiaire qu'il faut prolonger, pour la bière de garde ou d'été, aussi longtemps que possible en modérant l'activité des ferments; la durée en est alors de trois à quatre mois. La bière demeure ensuite dans les caves de conserve jusqu'au moment où elle est livrée à la consommation. La température exerce une influence décisive sur les qualités de cette bière; aussi ne doit-elle jamais dépasser 2 à 3 degrés.

Nous avons vu que, dans les anciens procédés de fabrication, les caves étaient simplement refroidies par contact direct de l'air avec un amas de glace plus ou moins considérable emmagasiné à une des extrémités de la cave, ou dans une chambre extérieure spéciale, dite glacière, avec laquelle les caves étaient mises en communication constante.

Dans le système Brainard, la glacière était située au-dessus d'un premier étage renfermant les cuves guilloires, l'étage inférieur des caves contenant les tonneaux de garde. L'air froid de la glacière plus dense descendait par des conduits et des trappes ménagées dans les plafonds pendant que l'air chaud des caves était chassé et remontait dans la glacière par des canaux pratiqués dans l'épaisseur des murs.

Nous avons signalé les divers inconvénients inhérents à ce système : manque d'uniformité dans la température, dans la puissance réfrigérante plus grande en hiver qu'en été, augmentation de la capacité des locaux, manutention gênante et coûteuse de la glace, consommation énorme dans certains établissements (20 à 50 kilogrammes par hectolitre suivant les saisons).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le refroidissement des moûts dans les cuves s'obtenait au moyen de *nageurs* remplis de glace. Ces nageurs, très employés en Allemagne et en Autriche, étaient constitués par des vases en tôle étamée, de forme conique ou cylindrique, terminés par une collerette évasée. Il est facile de comprendre que, dans ce cas encore, l'action refroidissante diminuait à mesure que la fusion de la glace s'opérait; de plus, les nageurs n'étaient pas toujours dans un état de propreté parfaite, ni suffisamment étanches pour éviter qu'une certaine quantité d'eau sale se mélangeât à la bière.

L'application des machines frigorifiques à la fabrication de la bière a été le point de départ de progrès extrêmement remarquables dans cette industrie. La faculté d'obtenir la glace sur place en toute saison a permis de fabriquer la bière en tout temps avec une sécurité plus grande et d'une façon plus économique, mais l'emploi de la glace artificielle présentait les mêmes inconvénients que celui de la glace naturelle.

Au contraire, la méthode de refroidissement par circulation d'eau glacée ou de liquide incongelable dans des serpentins a donné depuis dix ans des résultats si satisfaisants que la plupart des brasseurs ont renoncé aujourd'hui à l'emploi direct de la glace. En même temps elle a permis, dans certaines brasseries, de transformer complètement la fabrication par la substitution à la fermentation haute de la fermentation basse qui donne des produits meilleurs.

Nous avons décrit ailleurs ce mode de refroidissement et signalé ses avantages (température uniforme en toute saison, transport économique du froid à grande distance, atmosphère sèche, facilité de réglage de l'intensité du froid produit, dépense nulle en cas de chômage, réduction de la main-d'œuvre, etc.). Nous n'y reviendrons pas.

Le froid peut être utilisé en brasserie pour trois services différents :

1° Refroidissement des moûts par circulation de liquide froid dans des réfrigérants industriels.

Ces réfrigérants affectent des dispositions variées. L'un des plus simples est constitué par une caisse renfermant des serpentins dans lesquels circule l'eau glacée à 0 ou 2 degrés; au contact de ces serpentins se refroidit le moût dirigé par des chicanes convenablement disposées.

Dans l'appareil de Neubecker, très répandu dans les brasseries allemandes, le moût et le liquide froid circulent en sens inverse dans des tubes doubles concentriques, le moût dans les tubes intérieurs en cuivre, l'eau glacée dans les tubes enveloppes qui sont en fonte. Ces doubles tubes, placés verticalement, sont montés en batterie sur des collecteurs et réunis entre eux par des coudes ou des branchements horizontaux.

Dans le réfrigérant Baudelot, le courant froid est ascendant et circule dans une série de tubes superposés, placés horizontalement et formant serpentins. Le moût est amené dans une gouttière disposée en haut de l'appareil au-dessus des tubes. Le fond de cette gouttière est constitué par une toile métallique qui joue le rôle de filtre et laisse échapper le moût dans une seconde gouttière percée de trous. Le liquide s'écoule

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en pluie sur le premier tube dont il contourne la surface extérieure avant de tomber sur le second tube et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il se rassemble dans une large cuvette placée à la base de l'appareil. L'intensité des deux circulations est réglée de façon que le moût soit refroidi à 4 ou 5 degrés.

MM. Rouart frères et Cie produisent le refroidissement des liquides en les faisant circuler en couches extrêmement minces entre deux surfaces refroidies. Le refroidisseur de bière (1889), dont un dessin figurait à l'Exposition, fonctionne de cette façon. La bière circule dans un faisceau capillaire constitué par deux tubes concentriques de diamètres très peu différents et plongés horizontalement dans une bâche remplie d'eau glacée ou d'une solution incongelable dont la circulation autour des tubes est maintenue active au moyen d'une turbinelle placée à l'une des extrémités de la bâche. La bière en couches minces est bien vite pénétrée par le froid du liquide environnant; la rapidité de la circulation facilite l'échange des températures. Avec un appareil suffisamment puissant, on peut amener rapidement la bière à la température à laquelle elle doit séjourner dans les caves. La bâche est fixée sur le réservoir de liquide froid avec lequel elle communique, de façon que les niveaux soient les mêmes. L'appareil est suspendu à une chaîne reliée à un levier avec contrepoids qui permet d'extraire facilement le cylindre de sa bâche. Les deux tubes sont reliés l'un à l'autre par un double joint qu'un volant à main permet de desserrer d'un seul mouvement de façon à sortir le tube intérieur pour effectuer le nettoyage, opération qui, dans la fabrication de la bière, est d'une grande importance. Le refroidisseur vertical, créé en 1880 par les mêmes constructeurs, est basé sur le même principe, mais le nettoyage en est un peu plus difficile et plus long.

2° Le deuxième service comprend le maintien des moûts à basse température pendant toute la durée de la fermentation principale.

Il est réalisé simultanément de deux façons différentes dans le cas de la fermentation basse : 1° par le refroidissement à + 2 ou 3 degrés des salles de fermentation, à l'aide de serpentins ou de toiles métalliques suspendus aux voûtes; 2° par l'emploi de plongeurs métalliques composés chacun d'un tuyau creux affectant la forme d'une couronne dont les extrémités sont reliées par des tubes de caoutchouc aux robinets de réglage portés par les collecteurs d'aller et de retour du liquide froid.

On obtient ainsi un échange de températures énergique entre le moût et le liquide refroidisseur dont l'emploi permet de régler l'activité de la fermentation aussi exactement et aussi rapidement qu'il est nécessaire.

3° Enfin les salles de conserve ou salles de garde sont maintenues à une température moyenne de + 2 degrés au moyen également d'une circulation de liquide incongelable.

Les caves des brasseries à fermentation haute peuvent être refroidies plus énergiquement au moyen d'air froid amené à basse température par des frigorifères extérieurs ou intérieurs et maintenu en circulation continue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans certains cas, les brasseries comportent comme annexe une fabrication de glace assez importante. Cette glace est livrée à la consommation ou employée pour le maintien à température modérée de la bière pendant les transports souvent assez longs qu'elle a à subir.

Il y a quelques années, les bières qui étaient conservées dans des caves assez froides ne pouvaient être expédiées, surtout en été, que pendant la nuit, afin d'éviter autant que possible toute altération du liquide par suite d'une élévation de température. Pour des transports plus longs, il était nécessaire de chauffer la bière avant son expédition, qui se faisait dans des tonneaux entourés de glace naturelle et de paille.

Aujourd'hui, le transport de la bière se fait dans des wagons-glacières qui circulent en assez grand nombre sur nos voies ferrées. La disposition intérieure de ces wagons est analogue à celle des véhicules de même nature qui servent en Amérique pour le transport des viandes conservées par le froid.

Pour le transport en bouteilles, on emploie depuis longtemps la pasteurisation, opération absolument indispensable pour maintenir à la bière son bon goût, sa limpidité et sa conservabilité.

La Compagnie Pictet exposait un appareil récemment imaginé par M. Kuhn et qui permet d'appliquer la pasteurisation aux bières expédiées en fûts. La bière chauffée est refroidie ensuite brusquement et rapidement, de façon à ramener à leur état primitif les combinaisons très instables du liquide qui avaient subi un commencement de décomposition.

L'appareil comprend un cylindre horizontal en cuivre, à double enveloppe en tôle; l'un des fonds porte un manomètre, un niveau d'eau avec purgeur d'air et un thermomètre. L'autre fond est mobile et comporte un joint étanche. Un serpentin en cuivre a son entrée et a sa sortie dans le même fond. Deux robinets à deux voies permettent l'entrée et la sortie de la bière, du liquide incongelable et de l'eau chaude. Une frette en tôle avec tourillons entoure l'appareil supporté par un pied en fonte; un engrenage à vis sans fin permet d'incliner et de redresser l'appareil.

La bière est introduite par le premier robinet; quand le cylindre est plein on ferme ce robinet et le purgeur et on fait circuler dans le serpentin l'eau chaude qui passe ensuite dans la double enveloppe et s'échappe par le second robinet. Quand on a atteint le degré de température voulu, on ferme l'arrivée d'eau chaude, on purge le serpentin et l'enveloppe en plaçant l'appareil verticalement. On ramène ensuite le cylindre dans la position horizontale et on fait passer dans le serpentin l'eau froide d'abord, puis le liquide incongelable à — 10 degrés qui ramène la bière au degré voulu. Puis on fait arriver par le purgeur une pression d'acide carbonique et on transvase dans des fûts étanches hermétiquement clos.

On peut expédier ces fûts au bout d'un ou deux jours sans crainte de troubles dans le liquide.

En résumé, l'application du froid artificiel à la brasserie constitue l'un des progrès

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plus remarquables de ces dernières années puisque, d'une part, le brasseur peut aujourd'hui réaliser la fermentation et la conservation de la bière en toutes saisons, dans tous les climats, et cela d'une façon méthodique, aussi régulière et uniforme qu'il le désire et à des prix quelquefois bien inférieurs à ceux qui résultaient de l'emploi de la glace naturelle, et qu'en second lieu l'exportation de la bière en fûts est devenue possible sans crainte aucune d'altération en route et sans les inconvénients nombreux des transports en bouteilles (casse, main-d'œuvre importante, transports coûteux, etc.).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DIVERSES AUTRES APPLICATIONS DU FROID.

Comme nous l'avons signalé au début de ce rapport, le froid artificiel est aujourd'hui employé partout où une température basse et une circulation d'air pur, sec et froid sont nécessaires, partout où il y a lieu de supprimer ou de ralentir les fermentations, ou de prévenir les altérations des matières organiques. Outre les services qu'il rend dans des industries aussi importantes que celles que nous venons d'examiner et dans lesquelles il joue un rôle prépondérant, il existe encore un grand nombre d'applications où le froid intervient d'une façon secondaire et a modifié profondément soit la méthode, soit l'allure, soit le rendement de la fabrication.

Nous donnerons quelques renseignements sommaires sur certaines de ces applications qui étaient représentées à l'Exposition, soit par des exemples d'installations, soit par des dessins.

Chocolaterie. — Dans la plupart des usines, le refroidissement des moules était autrefois obtenu en les déposant soit sur des tables métalliques creuses à l'intérieur desquelles on faisait circuler de l'eau, soit dans une cave à température modérée. Ces procédés ont l'inconvénient d'être lents et d'entraîner, surtout en été, une assez grande quantité de déchets de démoulage, le chocolat n'étant pas suffisamment froid.

M. Dewinck a eu le premier l'idée d'utiliser le froid produit par l'appareil Carré. Depuis, le procédé Giffard a été appliqué à l'usine de Noisiel où le courant d'air froid produit par deux machines verticales parcourt une série de longs tunnels à l'intérieur desquels circulent, d'un mouvement très lent, les moules à refroidir montés sur des chaînes sans fin horizontales.

D'autres fois on se contente de refroidir simplement les salles de démoulage par un faisceau de serpentins suspendus au plafond.

Dans l'usine de M. Guérin-Boutron, l'installation est due à la Compagnie Pictet. Les tables de démoulage forment de longs canaux en fonte refroidis par une circulation d'eau maintenue à température constante (8 à 10 degrés). Au-dessus des tables et sur toute leur longueur sont disposés des pupitres mobiles qui, une fois rabattus, forment un conduit dans lequel un ventilateur détermine la circulation de l'air sec et refroidi dans un frigorifère extérieur à serpentins de liquide incongelable. Les tables ne jouent plus guère ici que le rôle d'une paroi isolante. On arrive par ce procédé à démouler en quinze minutes au lieu de trente employées précédemment. On réalise une économie de temps considérable qui a permis dans bien des cas de doubler l'importance de la fabrication. Le chocolat, plus dur, donne moins de déchets.

Margarinerie. — MM. Rouart frères ont installé dans l'usine de M. Pellerin, à Saint-Ouen, un local spécial pour la conservation des graisses qui doivent servir à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fabrication de la margarine et qu'il est très difficile, en été principalement, de maintenir suffisamment fraîches pour obtenir des produits de bonne qualité. Ce local est refroidi entre 2 et 4 degrés au-dessous de zéro au moyen du procédé par circulation de chlorure à — 22 degrés tombant en pluie sur un réseau de toiles métalliques, procédé que nous avons précédemment décrit.

Stéarinerie. — Le froid est appliqué de la même façon dans les fabriques de bougies, au refroidissement des locaux de conservation des suifs frais, à la cristallisation et au moulage des acides gras, à l'extraction de l'acide oléique, des acides gras, etc.

La maison Petit frères exposait dans la classe un appareil de refroidissement par couches minces permettant de récupérer le corps gras concret entraîné en dissolution par l'acide oléique au sortir des presses hydrauliques à froid.

On a employé dans ce but, pendant de longues années, le froid naturel des caves où la masse était déposée dans des cristallisoirs, mais la température étant, dans la plupart des cas, trop élevée, on a eu recours au refroidissement artificiel des caves par les machines à glace. Mais ce procédé présentait plusieurs inconvénients, entre autres une main-d'œuvre et une consommation de froid assez considérables et une séparation défectueuse de l'acide oléique et de l'acide stéarique.

MM. Petit frères ont alors imaginé un appareil réfrigérant spécial qui n'est autre qu'une roue dentée de grand diamètre pourvue, sur une portion de sa jante, d'un bassin circulaire en zinc dans lequel circule de l'eau glacée. L'acide oléique chargé de corps concrets est distribué par une conduite et un robinet dans une cuvette dont l'un des bords est tangent à la portion inférieure de la circonférence de la roue. L'action frigorifique se produit de cette façon sur la couche mince de liquide amenée au contact de la jante. La cristallisation du corps concret s'opère presque instantanément; un grattoir détache de la roue les acides refroidis et les fait tomber dans une cuve à double enveloppe également refroidie par l'eau glacée où une pompe les puise pour les envoyer aux filtres-presses. Ceux-ci les séparent en acide oléique très limpide et en tourteaux d'acide gras concret qui rentrent dans la fabrication. Ce résultat est obtenu presque sans main-d'œuvre et avec une faible dépense de froid; l'économie réalisée sur les anciens procédés de refroidissement peut être estimée à 70 p. 0/0.

Extraction de la paraffine. — Les pétroles utilisables pour l'extraction de la paraffine (Bakou, Galicie, Inde et Java) sont soumis à une série de distillations fractionnées qui séparent tous les produits dont la densité atteint 0,935. A partir de ce point, les liquides qui passent contiennent de la paraffine; on les fait alors arriver dans une série de moules où on solidifie cette dernière matière par le froid d'une façon analogue à celle employée pour le chocolat.

Forage des puits, percement de tunnels. — Les difficultés que présente le fonçage des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

puits dans les terrains ébouleux et aquifères sont toujours très grandes et peuvent donner lieu à des accidents très graves. Le procédé ingénieux imaginé par M. Pœtsch, en 1883, pare à toutes ces difficultés et à tous ces dangers. Il consiste simplement à introduire dans le terrain ébouleux une série de tuyaux de fer dont les trous de passage sont répartis sur une circonférence tracée à une certaine distance du périmètre donné. Chacun de ces éléments est formé de deux tubes concentriques disposés à la manière des tubes Field, c'est-à-dire que le tube extérieur est fermé à sa base tandis que le tube intérieur est ouvert, de façon que le liquide froid, injecté par une pompe dans le tube central, puisse remonter dans l'espace annulaire ménagé entre les deux tubes.

Tous les tubes sont réunis séparément au moyen d'un branchement en plomb pourvu d'un robinet qui permet d'en rendre le fonctionnement indépendant : les tubes intérieurs à un distributeur, les tubes extérieurs à un collecteur de liquide. Ces conduites sont placées en dehors du puits ou de la portion de puits à foncer.

La circulation dans le réseau des tubes d'une solution refroidie vers — 18 degrés ou — 20 degrés par une machine à ammoniac détermine au bout d'un certain temps la congélation par couches successives concentriques des parties aqueuses des terrains qui enveloppent chacun des éléments métalliques, et par suite celle de toute la portion comprise dans le périmètre donné. Le fonçage peut alors être entrepris, suivant le mode habituel, sans qu'un éboulement soit à craindre. Cette application du froid est très intéressante, et le même procédé peut être adopté pour le percement de tunnels ou de galeries dans les terrains peu consistants.

Conservation et congélation des laits, beurres, fromages, etc. — Le lait, comme toutes les autres denrées alimentaires, est susceptible de s'altérer sous l'action de la chaleur et cette altération est d'autant plus rapide que le lait récemment trait est à une température d'environ 38 degrés. C'est là un grave inconvénient au point de vue des transports souvent fort longs que cette denrée a à subir.

Plusieurs procédés ont été employés pour retarder la fermentation lactique. La pasteurisation est efficace, mais elle modifie d'une façon notable l'arome du lait. Le refroidissement par écoulement du liquide à la surface d'appareils Baudelot ou autres, dont les parois sont refroidies elles-mêmes par une circulation ou une pluie d'eau froide, ou se fait avec trop de lenteur, ou expose le lait, coulant en lame mince, à être envahi par les germes de l'air. M. Lézé a imaginé d'opérer le refroidissement du lait à 2 ou 3 degrés au-dessous de zéro dans des gouttières en cuivre rouge fermées et plongées dans un bain incongelable refroidi lui-même par des serpentins à circulation de chlorure. Un agitateur à palettes maintient le lait en agitation constante pour éviter la congélation; il est expédié dans des bidons ordinaires renfermés dans des caisses isolées.

Cette congélation du lait, évitée par M. Lézé, est recherchée au contraire dans le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

procédé Guérin (1884). Le liquide, converti en blocs glacés et maintenu en cet état, peut se conserver indéfiniment; son transport est en même temps plus facile et moins onéreux et les pertes pendant les manipulations des bidons sont nulles. Le seul inconvénient de ce procédé est l'augmentation de prix qu'il fait subir au lait. Cependant des transports de lait congelé se font actuellement de Suisse à Paris.

Dans les établissements agricoles où des appareils sont installés pour le refroidissement du lait, il est tout naturel d'utiliser également le froid pour la conservation des autres denrées et notamment des fromages et des beurres. L'affinage des fromages de Roquefort s'opère grâce à l'heureuse disposition des caves naturelles de ce pays. La température de ces caves est ramenée dans le voisinage de 0 degré par un réseau de toiles métalliques à division de chlorure du système Rouart (1888).

Hôpitaux et conservation des cadavres. — Le froid artificiel peut être utilement employé pour l'assainissement et la ventilation de certaines salles des hôpitaux. L'installation créée à la Morgue, en 1882, par MM. Mignon et Rouart pour la conservation des cadavres, dont un dessin figurait à l'Exposition, facilite singulièrement la reconnaissance des cadavres et aide aux opérations judiciaires. Les cadavres sont congelés à cœur dans des cellules à — 15 degrés refroidies par un faisceau de tubes suspendus à leurs plafonds et non ventilées pour éviter tout parcheminage des chairs. Le liquide froid sortant de ces tubes est aspiré par une pompe qui l'amène à l'air libre sur le faux toit de la salle d'exposition dont la température est maintenue à — 2 degrés; il rentre ensuite dans les serpentins qui opèrent le refroidissement d'une salle de conservation à — 4 degrés. Le fonctionnement de l'ensemble donne toutes satisfactions.

Concentrations et cristallisations. — La distillation par le froid semble plus économique que la distillation par la chaleur, car dans bien des cas la quantité de chaleur à enlever pour amener un liquide à son point de congélation est beaucoup moindre que la quantité de chaleur à lui fournir pour l'amener à l'ébullition. Aussi la concentration par le froid a-t-elle fait l'objet de nombreuses tentatives et applications.

Lorsque l'eau de mer se gèle, c'est la partie aqueuse du liquide qui se prend en glace et le résidu salin reste à l'état libre. Les habitants des pays maritimes du Nord emploient depuis longtemps ce procédé pour l'extraction du sel.

On a pu, en se basant sur le même principe, employer le froid artificiel à la concentration de certaines eaux minérales et à la congélation lente de certains vins dits *gelés* dont on extrait ainsi la partie aqueuse de façon à accroître le degré alcoolique. Ce procédé peut faciliter le transport des vins du Midi sans qu'il soit nécessaire de les alcooliser.

Il a été appliqué en Russie dans certaines sucreries pour l'extraction du sucre du jus de betterave au lieu de l'évaporation par ébullition dans le vide. La concentration par le froid des jus sucrés a également fait l'objet de certains brevets en France et en Belgique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Rouart ont proposé de former, par agitation des jus dans une cuve refroidie, une sorte de magma composé de deux parties, l'une constituée par des particules de liquide pulvérulentes très concentrées, l'autre formée de cristaux de glace. Par turbinage on sépare la glace du jus concentré. On arrive au même résultat (1880) en faisant bouillir le liquide dans un vide presque absolu. Le refroidissement dû à la vaporisation détermine la congélation lente de l'eau du liquide.

Plus récemment encore (1882) le froid a reçu une nouvelle application dans l'industrie de la sucraterie, notamment pour l'extraction du sucre des mélasses à l'aide de la strontiane. Une dissolution de cette matière ajoutée à la mélasse en proportion convenable donne un sucrate de strontiane insoluble. Ce sucrate, après lavage, est versé dans une série de bacs en tôle fermés et refroidis par un courant de liquide incongelable à — 13 degrés qui circule dans une double enveloppe; il se décompose en strontiane qui se cristallise et en sucrate bibasique soluble qui, traité par l'acide carbonique, met le sucre en liberté. Ce procédé a été appliqué à la Raffinerie Parisienne de Saint-Ouen; la solution incongelable est refroidie par cinq machines Vincent produisant ensemble 150,000 calories négatives à l'heure. Des procédés de cristallisation analogues sont également employés dans la préparation des acides et des couleurs.

Fabrication du sulfate de soude. — Les eaux mères des marais salants renferment encore, après dépôt du sel marin, de nombreux sels; entre autres, du sulfate de magnésie et du chlorure de sodium. Soumises à une température assez basse (— 10 degrés à — 15 degrés), ces eaux mères sont le siège d'une double décomposition qui a pour effet de déterminer un précipité de sulfate de soude et la formation d'un chlorure de magnésium qui reste en dissolution.

L'appareil employé dans ce but aux salins de Giraud se compose d'une cuve en tôle contenant les eaux à traiter et une série de serpentins verticaux sur lesquels glisse un râteau qui agite le liquide et entraîne le sulfate condensé dans un récipient de repos situé à l'une des extrémités de la cuve. Une drague à godets pêche le sulfate accumulé dans le récipient et l'amène dans des turbines qui en opèrent le séchage.

Fabrication de la dynamite. — Les acides sulfurique et nitrique sont mélangés dans une cuve en plomb placée dans une cuve en bois. Dans l'intervalle des deux cuves on établit une circulation d'eau froide. L'introduction de la glycérine dans le liquide acide développe une grande quantité de chaleur qu'il faut absorber par une réfrigération énergique. On a recours, dans ce but, à l'emploi de l'air comprimé que l'on fait barboter au sein du mélange et à un courant d'eau refroidie que l'on fait circuler dans un serpentin noyé dans la masse.

Séchage des explosifs. — Le séchage des explosifs est une opération délicate qui présente certaines difficultés dans les cas où elle est effectuée à l'aide d'un courant d'air

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont la température ne doit pas dépasser un certain degré généralement peu élevé. Sa puissance est donc limitée. MM. Rouart frères et Sencier ont imaginé tout récemment de refroidir l'air employé au séchage à une température de — 7 à — 8 degrés de façon que toute l'eau qu'il contient soit éliminée et on le réchauffe ensuite pour le ramener à la température limite à laquelle il doit opérer, température qui varie avec la nature de l'explosif.

Cet air étant sec peut alors, en passant sur l'explosif, se charger d'une quantité d'eau plus considérable que si on le prenait directement dans l'atmosphère extérieure sans le dessécher.

Les procédés employés pour refroidir l'air comportent deux appareils différents. Dans le premier, des bouts de tube placés verticalement plongent d'environ 2 centimètres dans un congélateur rempli de chlorure. Ces tubes font partie d'un réseau de conduites dans lesquelles un ventilateur fait passer l'air nécessaire au séchage.

Le second appareil n'est autre que le refroidisseur à serpentins et à cylindres tournants dont nous avons parlé.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et l'opération se pratique dans des conditions de sécurité et de certitude bien supérieures à celles que fournissaient les anciennes méthodes de séchage.

Le froid a été également appliqué à la trempe des plaques de blindage. Les plaques chauffées au rouge dans un four à réverbère sont ensuite plongées dans une fosse remplie de liquide incongelable à basse température.

Dans certaines magnaneries, on obtient, au moyen du froid, la conservation des graines de vers à soie et on retarde leur éclosion jusqu'au moment de la pousse des mûriers.

On peut, de la même façon, retarder la maturation des légumes et la floraison de certaines plantes.

Le froid est aussi employé pour la congélation des skating-rings ou salles de patinage, pour la conservation des fourrures et tissus, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONCLUSIONS.

Cette dernière énumération sommaire des principales applications qu'a reçues, depuis une quinzaine d'années, le froid artificiel, en dehors de son utilisation plus importante et plus étendue pour la fabrication de la glace, la conservation et le transport des denrées alimentaires et la brasserie, suffit, croyons-nous, pour montrer l'utilité incontestable de cet élément nouveau du progrès industriel et commercial et les ressources variées que son emploi présente.

L'Exposition de 1889, par les nombreux spécimens qu'elle a présentés au public, a d'ailleurs mis en lumière l'ingéniosité et les soins apportés par les constructeurs dans l'exécution des machines frigorifiques modernes. S'il ressort des considérations que nous avons formulées au cours de ce rapport qu'aucun agent producteur du froid parmi ceux actuellement employés, qu'aucune machine parmi les types construits ne satisfait d'une façon complète aux exigences de la théorie, il n'en est pas moins vrai de dire que le froid artificiel peut être obtenu à notre époque moyennant une dépense assez minime et de peu d'importance relativement à l'effet produit.

Tout au plus convient-il de faire remarquer que les machines à air se distinguent par un rendement moins élevé des machines à bases chimiques dont les divers types sont, au contraire, séparés les uns des autres par des différences peu sensibles. Malgré cette cause d'infériorité, nous estimons qu'il n'y a pas lieu d'exclure les machines à air de toutes les installations à prévoir à terre, car elles possèdent, au point de vue de la production des très basses températures et des facilités d'installation et de conduite, des avantages pratiques qui souvent peuvent compenser, et au delà, une certaine exagération dans la consommation du combustible.

En présence d'un outillage arrivé à un degré de perfectionnement aussi avancé, il reste à souhaiter que les applications que nous avons examinées soient chaque jour en France l'objet d'une généralisation plus marquée. L'on est en droit, en face des remarquables résultats déjà acquis et des progrès extrêmement sensibles réalisés depuis vingt ans, de présumer qu'ils seront, dans un avenir plus ou moins rapproché, le point de départ d'applications nouvelles à peine soupçonnées aujourd'hui. Le refroidissement et la ventilation, au moyen de l'air refroidi à température modérée, des salles publiques encore éclairées au gaz, telles que théâtres, restaurants, salles de concert, etc., et de certains établissements industriels où la chaleur est quelquefois insupportable, nous paraîtraient l'une des applications les plus intéressantes du froid artificiel sur lesquelles devraient se porter l'attention, les études et les essais des constructeurs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MACHINES DESTINÉES À LA FABRICATION DES HUILES

DES PÂTES ALIMENTAIRES, ETC.

RAPPORT

PAR

M. A. ROUART

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE VIII.

MACHINES DESTINÉES À LA FABRICATION DES HUILES, DES PÂTES ALIMENTAIRES, ETC.

Les appareils de pression : presses à leviers articulés et presses hydrauliques, sont aujourd'hui employés dans une large mesure par les diverses industries de l'alimentation.

Aussi les efforts des constructeurs se sont-ils portés sur ces sortes d'appareils et leur ont-ils permis de réaliser des progrès très réels dont les spécimens exposés dans la classe 50 ont révélé toute l'importance.

Tous les appareils de cette sorte cependant n'appartiennent pas à notre classe, et c'est ainsi que nous n'avons pas à nous occuper des pressoirs et des presses employés par la viticulture et par la fabrication du cidre.

Les progrès qu'on a pu constater à l'Exposition de 1889 portent non seulement sur la construction même qui est plus soignée qu'autrefois, mais encore sur les dispositions ingénieuses du mécanisme et sur l'emploi de matériaux qui permettent d'obtenir des pressions bien plus considérables que par le passé, sans que le poids des appareils se soit sensiblement accru.

Des améliorations bien raisonnées ont été aussi réalisées dans la construction des pompes hydrauliques et dans les appareils de distribution de la force hydraulique.

La classe 50 comprend une série d'industries qui font emploi d'appareils de pression. Quatre d'entre elles sont très importantes. Ce sont :

1° Les fabriques d'huiles de graines ;

2° Les fabriques d'huiles d'olive ;

3° Les fabriques de margarine ;

4° Les fabriques de pâtes alimentaires.

Nous examinerons successivement les appareils employés dans chacune de ces industries, nous bornant à mentionner, sans y insister, ceux qui servent pour la fabrication des miels, des sirops, des confitures, du beurre de cacao, pour les laboratoires, etc. Ces appareils, en effet, outre qu'ils n'offrent pas de dispositions bien nouvelles, ne sont appelés à donner que de petites pressions.

Néanmoins il convient de signaler que MM. David, d'Orléans, et Duscher, de Luxembourg, ont exposé des types de dimensions variées qui méritaient l'attention et que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MM. Samain, Mauguin et Paul Morane aîné ont fait figurer à l'Exposition des presses pour laboratoires, les unes à vis et leviers articulés, les autres hydrauliques qui enregistrent assez régulièrement les pressions atteintes et sont par conséquent dignes d'intérêt.

FABRICATION DES HUILES DE GRAINES.

Cette puissante industrie emploie une très grande quantité de presses hydrauliques; mais les installations méridionales diffèrent de celles du Nord.

Dans le Midi on cherche à obtenir à la première pression la plus grande quantité d'huile ayant un goût franc, sauf à donner plus de temps à la pression. Dans le Nord on active la production autant que faire se peut.

De là deux dispositions toutes spéciales pour les presses: les unes opérant lentement et énergiquement avec un chargement de graines d'environ 200 kilogrammes sans chauffage; les autres procédant avec rapidité, opérant sur 40 kilogrammes de matières seulement avec chauffage des graines au cours du travail.

Dans ces deux sortes de presses on fait usage de scourtins, sorte de sacs dans lesquels on place les graines à presser. Ces scourtins représentent une forte dépense comme entretien et renouvellement. Aussi les constructeurs s'appliquent-ils à chercher un moyen pratique de les supprimer.

M. Paul Morane aîné, dont l'exposition a été certainement la plus importante de celles figurant à la classe 50, a présenté une presse étudiée pour la méthode méridionale.

Cette presse a une puissance de 300,000 kilogrammes et permet de travailler 200 kilogrammes de graines par opération avec une pression de 84 kilogrammes par centimètre carré sur la surface du tourteau. C'est le type bien étudié et bien construit de la presse en usage courant.

Ce constructeur a présenté en outre une presse triple composée d'un étrier permettant de recevoir trois cylindres et d'un sommier relié par quatre colonnes. Cette disposition ingénieuse a pour avantage de diminuer le prix de l'outil en groupant plusieurs machines en une seule, ce qui permet d'obtenir un travail suivi facilitant à l'ouvrier le chargement et le déchargement d'un cylindre à un autre. La pression exercée sur la surface à presser peut être portée à 125 kilogrammes par centimètre carré.

Parmi les exposants de la classe 50, trois ont présenté des presses à huile de graines avec des dispositions spéciales permettant la suppression des scourtins.

Ce sont: MM. Laurent frères et Collot, de Dijon; Paul Morane aîné, de Paris; Velghe, de Gand (Belgique).

La presse hydraulique de MM. Laurent frères et Collot est munie d'un seau métallique portant des canaux et des ouvertures suffisamment fines pour en faire une sorte

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de filtre. Ce seau peut se mouvoir à volonté autour d'un des tirants de la presse de façon à permettre un chargement et un déchargement faciles en dehors du plateau presseur.

Cette presse est bien comprise, bien construite et peut rendre de grands services à la petite industrie, sans pouvoir être considérée comme applicable utilement dans les très grandes exploitations.

M. Paul Morane aîné avait exposé une presse hydraulique de grande puissance, permettant une pression de 145 kilogrammes par centimètre carré. La disposition en est toute nouvelle et réalise un réel progrès au point de vue de la suppression des scourtins.

Cette disposition consiste dans l'emploi de 35 plaques cannelées garnies de tôles perforées. Ces plaques sont placées dans une sorte de couloir où elles sont maintenues des quatre côtés. Chaque pain préparé à l'avance et représentant 175 kilogrammes de graines se place entre deux plaques filtrantes. Le liquide qui s'échappe par toutes les surfaces des plaques se réunit au fond du couloir d'où il s'écoule dans un récipient. L'opération peut être faite en vingt minutes.

Les presses de M. Rudolphe Velghe, de Gand, destinées l'une au froissage, l'autre au rebat, sont du type de celles qu'on emploie habituellement dans le Nord de la France, mais ce constructeur y a ajouté un système de plaques ou tiroirs métalliques qui économise les étreindelles. Les plateaux presseurs ont des cannelures longitudinales et les tiroirs métalliques sont percés de petits trous correspondant à ces cannelures. L'huile s'écoule de toute la surface du pain, facilitant ainsi la pression qui doit être plus prompte qu'avec l'emploi des étreindelles.

Il y a là certainement un progrès réalisé, sauf à constater par l'usage si les réparations que peuvent entraîner les tiroirs métalliques ne représentent pas une dépense analogue à celle qu'entraînent l'emploi et l'usage des étreindelles.

FABRICATION DES HUILES D'OLIVE.

Les presses employées le plus souvent aujourd'hui encore pour la fabrication des huiles d'olive sont des presses d'un système primitif, construites en bois et agissant à l'aide d'une vis actionnée soit directement, soit par un levier.

Il n'est pas douteux que les presses perfectionnées exposées classe 50 ne soient appelées à remplacer dans un temps prochain ces engins primitifs.

On peut diviser en trois groupes les systèmes de ces presses : presses à vis et leviers différentiels ; presses à vis et leviers articulés ; presses hydrauliques.

Dans l'un et l'autre de ces trois systèmes, on emploie des couffins, sortes de sacs, fabriqués avec du sparte ou de l'alfa, ayant la forme d'un disque double dont un fond est plein et l'autre ouvert au centre.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les couffins sont emplis par l'ouverture centrale et empilés les uns sur les autres à la suite du chargement. L'opération terminée, on les vide par la même ouverture.

Des presses à vis et leviers différentiels ont été exposées par MM. Mabille frères, d'Amboise, MM. Coq fils et Simon, d'Aix, M. Duscher, de Luxembourg, MM. Samain et Cie et M. Paul Morane aîné.

La presse de MM. Mabille frères peut fonctionner à bras ou au moteur. Elle possède un système particulier de levier différentiel.

Celle de MM. Coq fils et Simon, d'Aix, est une presse à vis marchant avec moteur. Elle est remarquable par sa combinaison mécanique qui permet de donner une pression très énergique réglable à volonté par le déplacement d'un contrepoids qui détermine un arrêt automatique dès que la pression désirée est atteinte.

La presse de M. Duscher, de Luxembourg, est à levier différentiel et ne présente qu'une variante de la combinaison habituelle.

MM. Samain et Cie et M. Paul Morane aîné ont exposé des presses à leviers articulés.

Ces presses sont mises en mouvement au moyen d'une vis horizontale inversement filetée des deux bouts. Cette vis commande des écrous sur lesquels tourillonnent des leviers attachés au sommier par des goujons. Lorsqu'on met en mouvement, les leviers se redressent ou s'inclinent pour procurer soit l'abaissement du plateau, soit son relèvement.

Cette disposition est simple et a l'avantage de permettre d'obtenir, avec un seul homme, toute la force nécessaire à la pression des olives, pression qui, dans ce cas, peut s'estimer à 60,000 kilogrammes au minimum.

La seule presse hydraulique destinée à la fabrication de l'huile d'olive exposée dans la classe 50 l'a été par M. Paul Morane aîné.

Cet appareil est bien construit et tout à fait perfectionné. Le cylindre et les colonnes sont en acier forgé, la pompe d'injection est bien comprise. Cet outil est évidemment d'un prix plus élevé que les précédents, mais les services qu'il est appelé à rendre en l'espèce constituent un véritable progrès.

Comme complément à ce que nous venons de dire, il est bon de signaler également les expositions de MM. Laugier et Martin, de Toulon, et de M. Lechat, de Sfax (Tunisie).

MM. Laugier et Martin ont présenté un filtre à huile, intéressant en ce sens qu'il donne une grande surface filtrante dans un espace très réduit.

M. Lechat expose le dessin d'un nouveau broyeur d'olives. Ce broyeur a pour but de retirer l'huile de l'olive sans briser le noyau et par suite d'obtenir un produit d'une grande pureté. Il se compose d'un cylindre creux dans lequel un arbre central, portant une quantité de lames de ressort, est mis en mouvement soit à la main, soit avec un moteur. L'olive, en frottant la circonférence intérieure du cylindre, se trouve mise en pâte tandis que le noyau ne peut être broyé en raison de la flexibilité des lames. Si on admet que la qualité de l'huile soit améliorée de ce fait, il est évident que cet appareil

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bien combiné est appelé à rendre de grands services, surtout chez les producteurs d'olives.

FABRICATION DE LA MARGARINE.

M. Paul Morane aîné a exposé un ensemble de matériel pour la fabrication de la margarine, comprenant : un broyeur de suif frais, un bain-marie pour la fonte, une presse hydraulique avec pompe d'injection, une presse à vis et à leviers articulés.

Les presses sont établies pour résister à une pression de 100,000 kilogrammes, ce qui donne 22 kilogrammes de pression par centimètre carré sur la surface à presser.

Le suif en rame passe d'abord par le broyeur pour tomber ensuite dans le bain-marie où il fond lentement à basse température.

La matière grasse qui s'écoule du bain-marie est, après refroidissement et solidification, placée entre deux plaques et soumise à la pression; elle laisse écouler l'oléo-margarine.

Le matériel est construit de telle sorte que les fondeurs de suif des petites villes puissent profiter de la fraîcheur des suifs qu'ils reçoivent des bouchers et produire, aussitôt la réception des produits, l'oléo-margarine qu'ils expédient ensuite dans les usines où se fabrique la margarine-beurre.

Si l'on veut bien remarquer que dans certains pays, notamment en Hollande, la production de la margarine a lieu dans des proportions considérables, on reconnaîtra que les appareils de M. Paul Morane aîné, destinés à vulgariser dans notre pays ce produit encore discuté, présentent un réel intérêt.

PRESSES POUR PÂTES ALIMENTAIRES.

Cette industrie déjà très importante doit, sans nul doute, s'accroître encore dans de larges proportions.

Les outils destinés à ses opérations, compris dans la classe 50, sont des presses et des moules.

Les presses ont été exposées par MM. Denet fils, de Paris, Paul Morane aîné, la Société générale meulière et la Société de construction de Saint-Georges, près Saint-Gall.

Les moules sont de la fabrication de MM. Denet fils et Breton, d'Orrouy (Oise).

M. Paul Morane aîné, qu'il faut encore citer ici d'une façon toute spéciale, a exposé deux presses à vermicelle et à macaroni qui sont des types excellents tant au point de vue de la conception qu'au point de vue de la construction. La principale, celle de grand modèle, peut être chargée de 190 kilogrammes de pâte et fonctionner à une pression de 400 atmosphères; elle donne une pression de 118 kilogrammes sur la surface pressée.

L'opération n'exige qu'une heure ou deux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une disposition ingénieuse ménagée à l'intérieur du cylindre en acier permet de relever le piston au moyen de la pression hydraulique, ce qui abrège sensiblement le temps de manœuvre et procure par conséquent une économie.

En résumé, les progrès réalisés par les constructeurs des presses exposées dans la classe 50 sont dignes de tout intérêt et donnent le droit d'espérer que l'emploi de ces outils, rendu plus facile et plus économique, se généralisera de plus en plus et deviendra pour ce genre d'industrie une source de très réels bénéfices.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS POUR LA FABRICATION DES EAUX GAZEUSES

RAPPORT

PAR

M. JOULIE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE IX.

APPAREILS POUR LA FABRICATON DES EAUX GAZEUSES.

Les appareils pour la fabrication des boissons gazeuses occupaient une place importante à l'Exposition universelle de 1889. La classe 50 comptait 20 exposants appartenant à cette spécialité et le jury leur a accordé 14 récompenses dont :

Médailles d'or	4
Médailles d'argent	4
Médailles de bronze	4
Mentions honorables	2

Cette énumération suffit à établir la valeur des appareils exposés.

Tous ont pour but de charger de divers gaz à la température ordinaire et à une pression plus ou moins supérieure à la pression atmosphérique l'eau ordinaire ou certaines boissons préparées. Ces boissons dites *gazeuses* sont ensuite emmagasinées dans des vases de faible capacité (siphons, bouteilles) permettant de les conserver sous pression et de les distribuer à la consommation.

Le gaz principal dont on a trouvé utile de charger ainsi l'eau ou certaines boissons est l'acide carbonique. L'oxygène et l'air atmosphérique sont également employés à préparer des boissons gazeuses.

BOISSONS À ACIDE CARBONIQUE.

Le gaz acide carbonique ou anhydride carbonique est facilement absorbé par l'eau qui en dissout à peu près son volume à la température ordinaire (15 degrés) sous toutes les pressions. Comme d'ailleurs le volume de ce gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il supporte, l'eau doit nécessairement se charger de quantités d'acide carbonique croissantes avec la pression.

La densité de l'acide carbonique est supérieure à celle de l'air dans le rapport de 1.5241 à 1. Le poids d'un litre d'acide carbonique à la pression normale (0 m. 76) et à la température ordinaire (15 degrés) est, par conséquent, de 1 gr. 867. L'eau peut

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donc se charger des quantités suivantes de ce gaz à la température de 15 degrés et par litre :

A la pression ordinaire (0 m. 76), 1 litre acide carbonique.....	1ˢ867
A la pression de 2 atmosphères, 1 litre acide carbonique.....	3 734
A la pression de 3 atmosphères, 1 litre acide carbonique.....	5 601
A la pression de 4 atmosphères, 1 litre acide carbonique.....	7 468
A la pression de 5 atmosphères, 1 litre acide carbonique.....	9 335

et ainsi de suite.

La température de l'eau exerce également une influence sur la solubilité de l'acide carbonique qui est d'autant plus forte que l'eau est plus froide.

L'eau étant chargée d'acide carbonique à une pression supérieure à celle de l'atmosphère, si la pression vient à être abaissée, elle laisse dégager le gaz en excès sur la quantité qu'elle peut en retenir à la pression finale.

Beaucoup d'eaux de sources, saturées sous des pressions élevées dans les profondeurs du sol, bouillonnent, par dégagement d'acide carbonique, lorsqu'elles sourdent à l'air, c'est-à-dire lorsqu'elles n'ont plus à supporter que la pression atmosphérique.

Mais tout le gaz en excès ne peut se dégager instantanément. Pour passer de l'état liquide à l'état gazeux, l'acide carbonique doit absorber une certaine quantité de chaleur qui devient latente. Il ne peut l'emprunter qu'à l'eau elle-même qui est refroidie d'autant et dont le pouvoir dissolvant se trouve par conséquent augmenté. Pour que le dégagement du gaz puisse continuer, il faut que l'eau ait le temps de reprendre de la chaleur au milieu ambiant pour la fournir de nouveau au gaz qui se dégage.

Il en résulte qu'en opérant rapidement, on peut embouteiller, à la source, les eaux surchargées d'acide carbonique, sans leur laisser perdre tout le gaz qu'elles contiennent en excès.

Elles peuvent ainsi donner encore une certaine effervescence lorsqu'on débouche les bouteilles où elles ont été enfermées.

Le prototype de ces eaux gazeuses naturelles est l'eau de Seltz qui doit son nom au village allemand de Nieder-Selters, dans l'ancien duché de Nassau, où sa source est connue depuis plus de trois siècles.

On en exploite aujourd'hui beaucoup d'autres qui contiennent, en même temps qu'une surcharge d'acide carbonique, des bicarbonates de soude, de potasse, de lithine, de chaux, de magnésie, de protoxyde de fer, unis à d'autres sels et que la médecine sait utiliser au traitement d'un grand nombre de maladies. Les principales sont les eaux de Spa, de Bussang, de Saint-Galmier, de Condillac, d'Orezza, de Vals, de Vichy, de Pougues, etc.

La présence de l'acide carbonique à saturation ou en excès donne à ces diverses eaux une saveur fraîche, piquante et agréable, qui les fait rechercher comme eaux de table, lorsqu'elles ne sont pas trop chargées de sels minéraux pouvant nuire à la diges-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion. Telles sont, notamment, les eaux dites *acidules-gazeuses,* dont les plus connues sont celles de Seltz, de Saint-Galmier et de Condillac.

L'acide carbonique n'existe pas seulement dans les eaux minérales qui en sont plus ou moins surchargées. Il se trouve aussi, en proportion plus faible, bien inférieure à la saturation, dans toutes les eaux potables. C'est surtout à sa présence que ces eaux doivent leur saveur agréable. Il contribue, en outre, à maintenir en dissolution les faibles quantités de sels minéraux qu'elles contiennent. C'est pourquoi elles se troublent par l'ébullition qui, en chassant l'acide carbonique, détermine le dépôt des carbonates de chaux et de magnésie et modifie désagréablement la saveur du liquide.

L'acide carbonique se produit abondamment pendant la fermentation alcoolique[1]. C'est à son dégagement qu'est dû le bouillonnement des cuves où se préparent les boissons fermentées. Aussi ces boissons en retiennent-elles des quantités plus ou moins fortes, suivant le moment où on les met en bouteilles.

C'est pour faire perdre aux vins leur excès d'acide carbonique qu'on les conserve quelque temps en tonneaux. Mais ils en retiennent toujours une certaine proportion qui contribue à leur donner la saveur qui les fait rechercher. Lorsque le vin est mis en bouteilles avant que sa fermentation soit terminée, elle se continue dans ces bouteilles, la pression augmente et fait souvent partir les bouchons. Le vin est alors *mousseux*, c'est-à-dire bouillonnant exactement comme les eaux minérales gazeuses prises à leur source et, pour le même motif, savoir : le dégagement de l'acide carbonique dissous en excès, sous une pression supérieure à la pression atmosphérique.

Si le bouchon est solidement fixé par une ligature et si la bouteille est assez résistante, le gaz reste comprimé et en dissolution et ne se dégage que lorsqu'on lui livre passage en débouchant la bouteille.

C'est ainsi que l'on prépare les vins blancs mousseux, les bières, les cidres et toutes les boissons fermentées mousseuses. Souvent, on ajoute un peu de sucre au moment de la mise en bouteille pour assurer la production de la mousse (vin de Champagne) qui est très appréciée par les consommateurs de ce genre de boissons.

L'acide carbonique pénètre donc plus ou moins dans nos voies digestives, soit par les eaux potables ordinaires, soit par le vin et par toutes les boissons fermentées, soit, enfin, par les eaux gazeuses de table et par les boissons mousseuses.

L'influence qu'il exerce sur nos organes est des plus favorables s'il n'est absorbé qu'en faible quantité. Elle peut être nuisible, au contraire, s'il est ingéré en quantité excessive.

Ainsi que nous l'avons déjà signalé, il communique aux boissons une saveur fraîche et agréable au palais. Arrivé dans l'estomac, il facilite le travail digestif en contribuant à maintenir l'acidité de la masse, condition essentielle au fonctionnement de cet organe.

[1] Par suite du dédoublement du sucre contenu dans le moût en alcool et acide carbonique sous l'influence du ferment.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il exerce aussi sur la muqueuse stomacale une action sédative et anesthésique, fort utile dans certaines maladies produites par la sensibilité excessive de cette muqueuse.

Des liquides contenus dans l'estomac, l'acide carbonique passe dans le sang qui le transporte dans tous les organes et il est finalement éliminé en grande partie par la surface pulmonaire, en même temps que le même gaz provenant des combustions intra-cellulaires, dont le principal rôle est d'entretenir la température animale. Une faible partie de l'acide carbonique ingéré peut être éliminée par les urines dans lesquelles il est facile de constater la présence de l'acide carbonique libre. Ainsi s'expliquent les effets diurétiques que les médecins ont reconnus aux boissons gazeuses.

Quelques auteurs attribuent à l'acide carbonique l'ébriété légère et peu durable que procurent les vins blancs mousseux, en général, et le champagne, en particulier. Cette propriété ne se retrouve à aucun degré dans les eaux gazeuses et ne saurait, par conséquent, appartenir à l'acide carbonique. Elle est incontestablement due à l'alcool contenu dans ces vins, mais il est bien possible que l'acide carbonique joue un certain rôle pour atténuer la durée de l'influence exercée par l'alcool, en en précipitant l'élimination.

Introduit ou développé dans l'estomac en quantité excessive, l'acide carbonique produit du gonflement, de la tympanite, déterminant divers accidents secondaires par compression des organes voisins. La distension de l'estomac a pour conséquence forcée une digestion lente et difficile. La masse alimentaire ne peut plus être pétrie, malaxée comme il convient par l'organe récepteur, pour s'imprégner du suc gastrique qui doit en déterminer la liquéfaction.

L'usage constant des boissons gazeuses surchargées finit même par déterminer des dilatations de l'estomac, persistantes et très difficiles à guérir. C'est à l'acide carbonique produit par la fermentation rapide des aliments dans l'estomac des animaux mis au pâturage qu'est due la météorisation qui affecte si gravement les ruminants lorsqu'ils ont absorbé des fourrages trop aqueux.

Une hygiène bien entendue peut donc admettre l'usage journalier des boissons légèrement gazeuses, mais doit proscrire absolument l'ingestion fréquente des liquides surchargés d'acide carbonique et absorbés avant que l'excès de gaz ait eu le temps de se dissiper.

Dans certains cas exceptionnels, cependant, le gonflement de l'estomac ou même de l'intestin par l'acide carbonique peut être utilisé par l'art de guérir. C'est ainsi que l'on a souvent raison des vomissements incoercibles, par le champagne frappé, par l'eau de Seltz et par la potion antiémétique de Rivière qui consiste en deux dissolutions : l'une de bicarbonate de potasse et l'autre d'acide tartrique que l'on fait absorber successivement pour produire de l'acide carbonique dans l'estomac. L'irritabilité de la muqueuse se trouve rapidement atténuée par l'anesthésie locale qu'exerce l'acide carbonique et l'énergie musculaire de l'estomac cède à la distension mécanique qu'il éprouve.

On a également obtenu de remarquables résultats par l'emploi des lavements d'eau

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de Seltz contre certaines constipations opiniâtres et dans quelques cas d'obstruction intestinale.

Les propriétés hygiéniques des boissons chargées d'acide carbonique expliquent suffisamment la faveur dont elles jouissent et les diverses inventions qui se sont successivement produites pour les mettre à la disposition des consommateurs.

On s'est appliqué, tout d'abord, à imiter les eaux minérales naturelles et l'industrie des eaux gazeuses remonte à une époque assez éloignée, car on trouve dès 1685 une patente accordée par Charles II, roi d'Angleterre, pour la fabrication des eaux minérales ferrugineuses et gazeuses.

Le soda water des Anglais, ou eau de soude gazeuse, était fabriqué empiriquement, même avant la connaissance chimique de l'acide carbonique, qui est due à Lavoisier. On se bornait alors à introduire dans les bouteilles contenant le liquide à charger de gaz une certaine quantité de carbonate ou de bicarbonate de soude, puis de l'acide tartrique en petits cristaux. La bouteille était rapidement bouchée et ficelée.

L'acide carbonique produit par la réaction de l'acide tartrique sur le carbonate alcalin restait alors en dissolution dans le liquide qui devenait mousseux et faisait sauter le bouchon lorsque la ficelle était coupée.

Mais, en procédant ainsi, on perdait déjà une certaine quantité de gaz carbonique avant que la bouteille fût bouchée, quelque dextérité que l'on pût mettre à exécuter l'opération.

Venel, en 1750, indiqua la séparation des matières effervescentes dans la bouteille même, de façon que le mélange ne pût s'opérer qu'après le bouchage.

On employait aussi des poudres effervescentes qui étaient livrées en paquets. Ces poudres sèches (acide tartrique et bicarbonate de soude) étaient placées par le consommateur même, au fond de son verre, avant d'y verser le liquide à rendre mousseux.

C'est dans le même ordre d'idées que se produisit plus tard une invention qui est encore utilisée et qui figurait à l'Exposition de 1889, dans la vitrine de M. Paquet. C'est l'appareil Lhote, consistant en un pot en porcelaine, muni d'une cloison intérieure qui le divise en deux vases distincts et accolés l'un à l'autre. Cette division se continue jusque dans le bec de l'appareil, ce qui permet de maintenir les deux liquides qui le remplissent complètement séparés jusqu'au moment de leur sortie. Les deux compartiments sont fermés à leur partie supérieure par une paroi qui porte une tubulure au-dessus de chacun d'eux.

Pour préparer l'eau gazeuse, on remplit d'eau les deux compartiments, en laissant assez de vide pour permettre l'agitation et on introduit, dans l'un, du bicarbonate de soude et dans l'autre, de l'acide tartrique en quantités équivalentes; on agite au moyen de deux spatules introduites par les tubulures pour faire dissoudre les deux produits. L'appareil contient alors deux dissolutions séparées qui, vidées en même temps par le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bec, se mélangent dans le verre même du consommateur et y produisent le dégagement d'acide carbonique.

On se sert du même appareil pour obtenir du vin mousseux, des limonades, etc., en remplaçant l'eau par du vin ou d'autres liquides convenablement préparés.

Mais tous ces procédés très primitifs ont le grave inconvénient de laisser dans la boisson un sel purgatif, le tartrate de soude, résultant de la réaction de l'acide tartrique sur le bicarbonate de soude. Le goût des liquides ainsi préparés n'est pas agréable et leur usage fréquent ne serait pas sans inconvénients.

Aussi a-t-on cherché et trouvé des moyens de préparer les boissons gazeuses parfaitement exemptes des produits chimiques générateurs de l'acide carbonique.

Les appareils imaginés dans ce but peuvent être divisés en deux catégories :

1° Les appareils portatifs ou de ménage;

2° Les appareils fixes ou industriels.

Le premier appareil portatif a été construit en Angleterre par Nootle, en 1775. Il consistait en trois vases en verre résistant, superposés avec des jonctions rodées à l'émeri. Les matières génératrices de l'acide carbonique (craie et acide sulfurique) étaient introduites dans le récipient inférieur. Le vase du milieu rempli d'eau, terminé à sa partie inférieure par une soupape et portant un robinet, était immédiatement placé au-dessus, surmonté lui-même par le vase supérieur, muni d'un col assez long pour arriver jusqu'au milieu de l'eau du vase moyen. Le gaz, pénétrant par la soupape, refoulait une partie de l'eau dans le compartiment supérieur d'où la pression de l'air la faisait redescendre lorsque le gaz était entré en dissolution, grâce à l'agitation imprimée à l'appareil.

Ce procédé peu commode fut perfectionné en 1837 par Chaussenot qui plaça le vase à décomposition au-dessus du récipient contenant le liquide à charger de gaz et plus tard, en 1840, par Briet, qui construisit le gazogène qui est encore très connu et généralement employé.

Ce sont deux vases superposés, réunis par une garniture en étain à vis. Cette garniture est munie d'un robinet pour la sortie de la boisson gazeuse, préparée dans le vase supérieur.

Les matières génératrices du gaz sont introduites dans le récipient inférieur. Ce sont des poudres sèches qui ne réagissent qu'après la fermeture de l'appareil et lorsqu'elles reçoivent une petite quantité d'eau.

Entre les deux compartiments, se place un tube disposé de manière à servir de soupape de séparation, permettant le passage du gaz et la chute de l'eau nécessaire à la réaction.

Les poudres employées sont le bicarbonate de soude et l'acide tartrique, qui a été quelquefois remplacé par raison d'économie par le bisulfate de potasse.

Le gazogène Briet est d'un maniement facile, d'une forme agréable à l'œil et son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

usage est aujourd'hui très répandu. Il n'a que l'inconvénient de s'user assez rapidement par la garniture d'étain qu'il faut visser et dévisser à chaque opération. Pour y remédier, on a imaginé une modification consistant à faire les deux vases d'une seule pièce et à placer le compartiment à décomposition à la partie supérieure. La boule inférieure est d'abord remplie d'eau par son col qui s'élève à un certain niveau dans la boule supérieure. Celle-ci reçoit les poudres génératrices de l'acide carbonique et l'appareil est ensuite fermé par une tête de siphon portant un tube plongeant au fond du récipient et permettant à l'eau de sortir sous la pression de l'acide carbonique.

On voyait à l'Exposition de 1889 divers perfectionnements de l'appareil Briet, soit sous sa première, soit sous sa seconde forme, notamment dans les vitrines de MM. Durafort et fils, Gilles, Thessier, Guéret frères et Bobet. Ces perfectionnements ont surtout pour objet le système de séparation des deux vases pour permettre au gaz acide carbonique de passer de l'un à l'autre, sans entraînement des sels qui doivent rester intégralement dans le vase générateur, comme résidu de l'opération.

D'autres résident simplement dans l'abaissement du prix des appareils, grâce à des améliorations apportées au système de fabrication.

Ces appareils ont résolu le problème de la production de l'eau de Seltz artificielle et des boissons gazeuses à domicile. Mais pour les établissements où ces boissons sont livrées au public en grandes quantités, il faut des appareils de production industrielle. C'est la seconde catégorie de machines que nous avons à décrire; c'est celle qui était le plus largement représentée à l'Exposition de 1889 et pour laquelle les inventions ingénieuses se sont produites avec un entrain qui fait le plus grand honneur à cette branche d'industrie.

C'est vers 1788 que la fabrication industrielle des eaux gazeuses commence à apparaître à Genève avec l'appareil de Gasse, habile pharmacien, qui fonda un établissement dans lequel on fabriquait annuellement 40,000 bouteilles d'eau de Seltz. Le système de Gasse consistait à produire l'acide carbonique au moyen de la craie et de l'acide sulfurique dans un générateur spécial. Le gaz passait ensuite dans des tonneaux remplis d'eau, où il était lavé, et se rendait, finalement, dans un gazomètre. Il y était puisé par une pompe qui le refoulait dans l'eau à saturer, contenue elle-même dans un récipient résistant. Lorsque l'eau était saturée à une pression convenable, on en remplissait les bouteilles qui étaient livrées à la consommation.

Paul, qui avait été pendant dix ans l'associé de Gasse à Genève, vint s'établir à Paris en 1798 et y créa, à l'hôtel d'Uzès, rue Montmartre, un établissement où on fabriquait, par le système de Genève, des eaux minérales artificielles gazeuses.

La grande épidémie de choléra de 1832 fut cause d'un développement considérable de la consommation de l'eau de Seltz et Barruel, alors préparateur à l'École de pharmacie de Paris, modifia l'appareil de Genève en supprimant la pompe et en conduisant directement le gaz carbonique du générateur dans l'eau à saturer, de manière à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

utiliser, pour cette saturation, la pression produite par le dégagement du gaz opéré en vase clos.

L'appareil imaginé par Barruel fut, à son tour, perfectionné par Soubeyran et Savaresse et il est encore employé, sous cette dernière forme, dans quelques fabriques.

Les systèmes de Savaresse, de Barruel et de Genève étaient intermittents. Pour arriver à une production abondante et rapide, il fallait des appareils à fabrication continue. C'est à un ingénieur anglais, Bramah, qu'on doit la première machine de ce genre qui fut construite en Angleterre vers 1832. Ce système fut introduit en France par les pharmaciens Planche et Boullay, qui fondèrent l'usine du Gros-Caillou à Paris.

Enfin le système de Bramah fut définitivement transformé et perfectionné par Ozouf, qui donna aux appareils les principales dispositions qu'ils présentent aujourd'hui.

La fabrication des boissons gazeuses a pris de tels développements que la construction des appareils qui servent à les produire est devenue une branche importante de la mécanique industrielle. Des maisons puissantes vivent aujourd'hui de cette spécialité et chacune d'elles livre aux fabricants de boissons gazeuses des appareils à production intermittente et à production continue, fonctionnant à bras, à manège, ou à vapeur, suivant l'importance du débit que l'on veut obtenir.

A l'Exposition universelle de 1889, on pouvait voir dans la classe 50 les divers types exposés par les maisons suivantes : Cazaubon et fils, Boulet et Cie, Durafort et fils, Mondollot, Guéret frères, Prudon et Dubost, Greffier, etc.

Chacune de ces maisons se recommande par certains perfectionnements de détail que nous ne pouvons examiner dans ce court exposé, mais dont le jury s'est efforcé de tenir compte. Il nous suffira de dire que toutes ont résolu complètement et élégamment le problème de la production continue des boissons gazeuses et on aura une idée des difficultés qui ont été vaincues par les divers constructeurs, quand nous dirons que le travail consiste à faire arriver, dans un même récipient, l'acide carbonique convenablement purifié et le liquide à charger de gaz, sous une pression de 12 à 15 atmosphères et à alimenter ce récipient de gaz et de liquide d'une façon parfaitement régulière et continue, à mesure qu'on le vide pour remplir les bouteilles ou les siphons qui doivent être livrés à la consommation.

Dans tous les appareils qui viennent d'être cités, le gaz acide carbonique est toujours produit par la décomposition du carbonate de chaux ou du bicarbonate de soude par l'acide sulfurique. Mais on s'est demandé à diverses reprises s'il ne serait pas possible d'utiliser à la fabrication des eaux gazeuses l'acide carbonique produit par la combustion du coke ou de tout autre combustible. Jusqu'à ces derniers temps, les essais tentés dans cette voie étaient restés infructueux, à cause du prix de revient trop élevé de l'acide carbonique obtenu par ces systèmes.

Depuis quelque temps, les applications industrielles de ce gaz s'étant multipliées, la question a été reprise et on a trouvé des moyens de le produire à bon marché et de le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rendre parfaitement transportable en le comprimant dans des tubes d'acier où on l'emmagasine à l'état liquide, sous une pression de 36 à 40 atmosphères. Pour l'obtenir, on fait arriver les gaz d'un foyer convenablement disposé dans une chambre où s'écoule en cascade une dissolution froide de carbonate de soude qui absorbe l'acide carbonique et laisse passer les autres gaz. La dissolution de bicarbonate de soude qui en résulte, chauffée ensuite, perd l'acide carbonique qu'elle avait absorbé et celui-ci est recueilli dans un gazomètre où des pompes viennent l'aspirer pour le refouler et le comprimer dans les tubes d'acier qui doivent lui servir de récipients. La dissolution, débarrassée de l'excès d'acide carbonique et refroidie, retourne à l'appareil saturateur pour se charger de nouveau. Le travail est, par conséquent, continu et l'acide carbonique produit est d'une grande pureté.

La Compagnie générale des produits antiseptiques avait exposé dans la classe 50 de l'acide carbonique liquide ainsi obtenu et contenu dans des tubes de diverses dimensions. Le prix marchand de cet acide est de 1 fr. 50 le kilogramme, représentant 500 litres de gaz.

L'acide liquide reprend la forme gazeuse aussitôt que la pression est diminuée par l'ouverture du robinet qui termine la bouteille d'acier et le gaz peut être conduit par des tubes partout où son emploi doit être utile. Il est facile de l'employer à la production des boissons gazeuses. Il suffit, pour cela, de remplacer, dans un appareil quelconque, le générateur par une bouteille à acide carbonique liquide mise en communication avec le saturateur par un système convenable de tubes et de robinets.

L'opération marche comme à l'ordinaire, tant que la bouteille contient une quantité d'acide suffisante pour maintenir la pression nécessaire. Lorsque le manomètre est arrivé à la limite voulue, on renouvelle la bouteille à acide et l'opération peut être continuée.

Mais l'emploi de l'acide carbonique liquide peut rendre beaucoup plus simple la fabrication des boissons gazeuses, en saturant les liquides à charger de gaz dans les vases mêmes (siphons) qui doivent les contenir pour les livrer à la consommation.

Une société belge et française, *La Carbonique*, avait exposé dans la classe 50 un intéressant appareil destiné à cet usage et inventé par MM. Avedyk et Émile Halot.

Cet appareil se compose : 1° d'une bouteille à acide carbonique liquide que l'on peut changer à volonté; 2° d'un régulateur de pression qui permet de détendre à une pression convenable le gaz qui sort de la bouteille; 3° d'un tube saturateur placé sur deux colonnettes sur lesquelles il peut recevoir un mouvement de rotation partielle.

Un certain nombre de siphons (six ou douze) peuvent être solidement adaptés sur ce tube et mis en communication avec son intérieur par leurs becs. Il est terminé à ses deux extrémités par des robinets, dont l'un amène sous pression le liquide à gazer, et l'autre, l'acide carbonique ayant passé par le détendeur.

On commence par faire monter le liquide dans les siphons. Une disposition ingénieuse permet, en même temps, de chasser l'air dont ils étaient d'abord remplis. On

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

amène ensuite le gaz carbonique et pour faciliter sa dissolution, on agite le contenu des siphons en imprimant au tube saturateur un mouvement de demi-rotation au moyen d'un levier qu'il porte à cet effet à l'une de ses extrémités.

Lorsque les siphons sont chargés, ils sont remplacés par des siphons vides et on recommence l'opération.

Cet appareil tient fort peu de place, il est d'un maniement facile. Il permet de faire dix opérations par heure, donnant chacune 12 siphons, soit 120 siphons à l'heure et 1,200 siphons par journée de travail et par ouvrier.

Nous n'avons pas à insister sur les liquides qui sont chargés de gaz acide carbonique par les divers appareils que nous avons rapidement passés en revue dans les lignes précédentes. C'est, tout d'abord, l'eau ordinaire pour la production de l'eau dite *de Seltz;* ce sont ensuite des dissolutions sucrées et diversement aromatisées, dont on fait des limonades gazeuses. Ce sont aussi des dissolutions salines diverses, donnant des eaux minérales artificielles qui imitent plus ou moins exactement les eaux minérales naturelles et les remplacent quelquefois avantageusement; ce sont enfin des vins blancs, plus ou moins sucrés, qui sont champanisés, c'est-à-dire transformés, par ce procédé, en vins mousseux imitant le champagne.

Nous n'avons rien à dire non plus des vases (bouteilles, siphons) dans lesquels on emmagasine les boissons gazeuses, ni des divers systèmes de bouchage qui sont depuis longtemps bien connus et n'ont présenté à l'Exposition de 1889 aucun perfectionnement important.

EAU OXYGÉNÉE.

Mais nous avons à signaler un autre genre de boissons gazeuses dont la médecine fait usage depuis quelques années seulement. Il s'agit de l'eau, non plus chargée d'acide carbonique sous pression, mais bien d'oxygène, dans des conditions analogues. L'oxygène est préparé en grand par *The continental oxygen Company limited,* suivant le procédé breveté de MM. Brin frères.

Ce procédé consiste à extraire l'oxygène de l'air atmosphérique, au moyen de la baryte, sous l'influence d'une faible pression et d'une température de 600 à 800 degrés, fournie par la combustion du gaz oxyde de carbone. Il se forme ainsi du bioxyde de barium qui est ensuite décomposé en remplaçant la pression par le vide et en élevant un peu la température.

Dans ces nouvelles conditions, le bioxyde de barium laisse dégager l'oxygène dont s'était surchargée la baryte et celle-ci, revivifiée, permet de recommencer l'opération dans le même appareil. Le gaz oxygène est recueilli dans un gazomètre, où il est puisé par des pompes qui le compriment dans des vases résistants qui servent à le livrer à la consommation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'idée première de ce procédé de préparation de l'oxygène n'est pas nouvelle. Elle est due à Boussingault qui a même constaté, plus tard, que le bioxyde de barium se dissocie dans le vide, à la température même de sa formation.

Mais la manière dont MM. Brin frères ont su utiliser et rendre industrielle l'invention de Boussingault ne fait pas moins honneur à ces inventeurs.

La société qui exploite leur brevet livre couramment aux hôpitaux, depuis plusieurs années, de l'oxygène comprimé à 8 atmosphères dans de petits récipients qui en contiennent au moins 200 litres. D'autres bouteilles d'acier plus résistantes, et analogues à celles dont nous avons parlé à propos de l'acide carbonique, reçoivent de l'oxygène comprimé à 120 atmosphères, destiné à de nombreux emplois industriels, tels que projections à la lumière oxyhydrique, obtention des hautes températures par le chalumeau, rectification de l'alcool, épuration du gaz de houille, préparation de produits chimiques, etc.

Parmi les applications de l'oxygène faites par la société elle-même, se trouve la préparation d'une eau chargée d'oxygène qui est livrée en siphons, comme l'eau de Seltz, et s'emploie de la même manière. Cette eau, dite *oxygénée* et qu'il ne faut pas confondre avec l'eau oxygénée des chimistes, qui est le bioxyde d'hydrogène, paraît avoir des propriétés curatives utiles dans diverses maladies, telles que le diabète, l'anémie, la dyspepsie, etc. Elle se prépare comme l'eau de Seltz, en remplaçant l'acide carbonique par de l'oxygène, tiré d'une bouteille à oxygène comprimé ou puisé par la pompe de l'appareil dans le gazomètre où ce gaz a été recueilli.

L'eau dite *oxygénée* est aussi livrée en bouteilles pour être consommée comme eau de table à la façon de l'eau de Seltz.

EAU AÉRÉE.

Nous ne pouvons terminer ce rapport sans appeler l'attention sur un petit appareil portatif d'un genre entièrement nouveau, qui permet de préparer rapidement toutes sortes de boissons gazeuses et notamment de charger l'eau d'air atmosphérique, ce qui peut avoir une grande utilité dans certains cas.

Ce petit appareil était exposé par M. Thieulin, de Besançon, et lui a valu une médaille de bronze. Il consiste en une carafe en verre résistant, sur la tubulure de laquelle se place une garniture métallique portant un tube en verre qui plonge jusqu'au fond de la carafe et deux robinets de vidange analogues à ceux des têtes de siphon. Entre ces deux robinets, la garniture porte un cône sur lequel s'adapte une petite pompe à main, au moyen de laquelle on peut comprimer de l'air dans le liquide qui a été préalablement introduit dans la carafe.

On prépare ainsi très rapidement de l'eau aérée, ce qui est fort utile toutes les fois qu'on est obligé de boire de l'eau qui ne contient pas suffisamment d'oxygène, l'eau bouillie, l'eau distillée, par exemple. Dans l'appareil de M. Thieulin, l'eau peut être

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chargée d'air à plusieurs atmosphères, ce qui la rend gazeuse et pétillante comme l'eau de Seltz et l'eau oxygénée qu'elle peut fréquemment remplacer.

Pour préparer certaines eaux minérales, il suffit d'introduire dans la carafe, avec l'eau, les sels qui les caractérisent. Il est à remarquer que certains de ces sels, fort peu solubles dans l'eau ordinaire, se dissolvent facilement lorsque cette eau est chargée d'air.

On peut aussi charger d'air des limonades, des vins blancs plus ou moins sucrés, de la bière, etc., et obtenir ainsi des boissons mousseuses très agréables et dont la saveur est moins piquante que pour les mêmes boissons chargées d'acide carbonique.

L'appareil exposé par M. Thieulin n'était applicable qu'à la compression de l'air atmosphérique, mais il serait évidemment facile de l'utiliser à la compression de tout autre gaz. Il suffirait pour cela d'ajouter à sa pompe une tubulure à soupape que l'on mettrait en communication par un tube de caoutchouc avec le générateur ou le réservoir du gaz à comprimer.

On pourrait ainsi préparer toutes les boissons à acide carbonique, à oxygène et même des eaux chargées d'acide sulfhydrique, d'acide sulfureux et d'autres gaz pour l'usage de la médecine ou des laboratoires de chimie.

La *Comtoise,* c'est le nom que M. Thieulin donne à son appareil, a donc sa place marquée dans les laboratoires aussi bien que sur les navires et dans les maisons bourgeoises où il résumera, si je puis m'exprimer ainsi, toutes les inventions que ce rapport vient de passer en revue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL DE LA CHOCOLATERIE, DE LA CONFISERIE

ET DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES ALIMENTS

RAPPORT

PAR

M. LOMBART

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CHAPITRE X.

MATÉRIEL DE LA CHOCOLATERIE, DE LA CONFISERIE ET DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES ALIMENTS.

MATÉRIEL DE LA CHOCOLATERIE.

La fabrication du chocolat est d'origine mexicaine; de là, elle s'est implantée en Espagne, et enfin est apparue en France au milieu du XVII[e] siècle.

Les qualités éminemment nutritives et réparatrices du chocolat lui valurent sous Louis XV un succès mérité, succès qui, depuis cette époque, a pris, d'année en année, un développement plus considérable.

La raison de cette juste faveur est toute dans ce fait que le chocolat constitue, sous une forme agréable et condensée, un aliment complet.

Le cacao en effet renferme environ 50 p. 100 d'une matière grasse appelée *beurre de cacao* et 20 p. 100 de matières azotées (albumine, fibrine, etc.). Le chocolat qui est un simple mélange de cacao et de sucre, additionné de vanille et de cannelle jouant le rôle d'excitants, réalise donc l'aliment parfait puisqu'il est à la fois *aliment respiratoire,* par le sucre et la matière grasse qu'il fournit à nos organes, et *aliment plastique* ou *réparateur,* par l'azote qu'il introduit dans nos tissus.

Aussi la fabrication du chocolat s'est-elle constamment développée, surtout depuis que les procédés mécaniques se sont substitués au travail à la main.

C'est à l'aide de pilons et de rouleaux à bras que l'on procédait jadis au broyage du chocolat, opération essentielle, puisqu'elle assure le mélange intime du sucre et du cacao et qu'elle en prépare l'assimilation facile dans l'organisme. On conçoit donc que le chocolat obtenu par ces procédés longs et pénibles ait été d'un prix inabordable pour le grand public : c'était un aliment de luxe. Pour qu'il devînt populaire, il fallait remplacer le travail de l'homme par celui de la machine, beaucoup moins coûteux et beaucoup plus productif.

A la France revient l'honneur d'avoir le plus puissamment contribué aux progrès de cette grande industrie, et de s'être placée, dans le monde entier et d'une manière incontestée, au premier rang, tant pour la quantité que pour la qualité de ses produits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il faut cependant reconnaître que le matériel des grandes chocolateries modernes diffère bien peu du matériel que l'on y voyait il y a douze ans. L'ensemble, la coordination des divers éléments de l'usine s'est améliorée, mais les outils sont restés les mêmes ou à peu près.

Si l'on peut dire que les chocolatiers ont toujours cherché à faire mieux en soignant davantage le choix et la préparation de leurs matières premières, et à faire meilleur marché en introduisant dans leurs usines toutes les économies compatibles avec une bonne fabrication, il faut avouer que la mécanique ne les a guère aidés dans cette tâche et que la main-d'œuvre n'a pas été simplifiée chez eux comme elle l'a été heureusement dans un grand nombre d'industries.

L'examen des nombreuses machines exposées dans la classe 50 nous prouve que des améliorations de détail, très ingénieuses sans doute, ont été faites, mais nous ne trouverons depuis 1878 aucune de ces innovations qui transforment une industrie en réduisant au minimum le prix de revient de fabrication.

Nous adopterons dans notre examen l'ordre suivant, lequel représente dans l'usine les diverses manipulations du cacao et du sucre.

Le cacao passe d'abord dans le crible diviseur qui donne un premier classement par ordre de grosseur et ensuite il est soumis à l'action de l'épierreur. Ces appareils n'ont rien de particulier; ils sont en tout semblables à ceux que l'on emploie en agriculture.

Puis le cacao est trié à la main pour être débarrassé des corps étrangers qui auraient pu échapper au nettoyage mécanique et il est brûlé dans des torréfacteurs.

Nous ne parlerons pas des broches sphériques ou cylindriques des maisons Lefèvre et Lauzanne; elles ne diffèrent pas sensiblement de celles que nous avons vues en 1878.

M. Ferro Cardoso a exposé un nouveau torréfacteur dans lequel l'action de la chaleur résultant d'une circulation de vapeur surchauffée se combine à l'action du vide qui favorise le desséchement du cacao ou du café.

Cet appareil, d'invention toute récente, semble, en théorie, annoncer un perfectionnement que les premiers essais ont confirmé; toutefois il n'a pas encore fait ses preuves dans les manufactures.

Le cacao torréfié est décortiqué, concassé et passé au tarare qui classe les fragments de diverses grosseurs et sépare les coques.

Le concasseur décortiqueur de cacao se compose d'une noix en fonte dure, à côtes, tournant dans une coquille qui épouse la même forme; l'écartement de la noix et de la coquille est réglé suivant la nature du grain.

Le tarare à cacao se compose, à proprement parler, d'une série de tarares juxtaposés, desservis par un cylindre distributeur recouvert de toiles métalliques ou de tôles perforées : les fragments de grosseurs différentes sont classés par les toiles métalliques et les coques sont chassées par les ventilateurs, tandis que les grains tombent en avant dans des cases distinctes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La maison Cabasson (anciennement Pernolet) a exposé un de ces tarares, et elle nous a donné de plus la satisfaction d'avoir à examiner un appareil nouveau : *le dégermeur,* qui sépare les germes de cacao et les petits fragments de même grosseur. Nous sommes heureux de donner la description de cet appareil ingénieux et pratique, dont le principe est fondé sur la différence de forme du germe et du petit fragment de cacao : le premier est oblong et le second est arrondi. En conséquence on a disposé, à l'intérieur d'un cylindre horizontal, des tôles présentant des alvéoles dans lesquelles le grain de cacao peut se loger, mais non le germe. Le cylindre tournant, le grain est entraîné dans les alvéoles et retombe après avoir été soulevé à une certaine hauteur. Il est recueilli dans un conduit spécial tandis que le germe reste au bas du cylindre et avance vers la sortie.

Le triage mécanique ne classant les corps qu'en raison de leur forme et de leur poids, il y a des corps étrangers au cacao, mais de même volume et de même densité, qui ne sont pas séparés par le tarare. Ce triage mécanique doit donc être suivi d'un triage à la main.

Après quoi les différentes sortes de cacao étant dosées en proportion convenable, le tout est broyé dans des moulins qui produisent une pâte très fluide, composée de beurre de cacao tenant en suspension la poudre de cacao.

Ces moulins sont de deux sortes : les uns sont constitués par deux meules horizontales et représentent exactement la paire de meules des meuniers avec meule dormante et meule vive ; les autres se composent d'une noix de granit taillé tournant dans une coquille de même nature. Les uns et les autres sont alimentés par une trémie à tic-tac.

La pâte fluide qui sort du moulin peut avoir trois destinations.

On peut en faire :

1° Du cacao, dit *sans sucre,* livré tel quel à la consommation ;

2° De la poudre de cacao ;

3° Du chocolat.

La fabrication de la poudre de cacao a pris dans ces derniers temps un très grand développement : cette poudre n'est autre chose que du cacao privé d'une grande partie de son beurre et qui, par ce fait, convient à des estomacs qui ne peuvent supporter aucune matière grasse.

Le beurre est simplement extrait par une presse qui en laisse de 20 à 25 p. 100 dans la poudre.

Celle-ci est broyée sur un mélangeur à lourds galets et ensuite très finement tamisée à tel point que, mise en suspension dans l'eau bouillante, elle paraît être en dissolution. La maison Ed. Greiss a exposé un mélangeur spécialement construit pour cet usage.

La poudre ainsi broyée est tamisée dans des bluteries, puis dans des tamis agités sur des tables à secousses, dont les mouvements sont plus ou moins compliqués. Nous signalerons les tables à secousses de la maison Greiss et de la maison Beyer.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La fabrication de cette poudre est, comme on le voit, assez longue : dans le but de la simplifier et d'obtenir une poudre absolument impalpable, certaines maisons étrangères ont eu l'idée de soumettre le cacao à un traitement chimique par un alcali. Dans ce traitement le cacao se désagrège de lui-même au lieu de se désagréger mécaniquement, mais il est certain qu'il subit une altération due à l'action de l'alcali, altération qui se manifeste notamment lorsque, la préparation du cacao dans l'eau bouillante étant faite, on l'abandonne au refroidissement pendant une demi-heure : on constate un noircissement très sensible qui ne se remarque pas dans une solution de poudre de cacao travaillé sans emploi de produits chimiques. — Revenons à la fabrication du chocolat mélange de cacao et de sucre.

Le cacao broyé destiné à faire le chocolat est versé dans le mélangeur et additionné de sucre.

Le mélangeur est constitué par une table ronde en granit, fixe ou tournante, sur laquelle roulent des galets également en granit qui écrasent le mélange et assurent son homogénéité.

Des ramasseurs faisant l'office de socs de charrues retournent constamment la masse et présentent de nouvelles parties à l'action des galets.

Les mélangeurs sont à table tournante ou à table fixe. Dans le premier cas la table se meut autour d'un axe vertical passant par son centre, tandis que les galets, au nombre de deux ou de trois, tournent autour de leur axe horizontal fixe en s'appuyant constamment sur la table en mouvement. Ces galets sont en général cylindriques : il s'ensuit que les différents points de la génératrice du cylindre en contact avec la table ont une vitesse différente de celle des points de contact correspondants de la table ; par conséquent, en vertu de cette différence de vitesse, il y a étirement et déchirement de la pâte : l'effet peut être comparé à celui que produirait le pétrissage à la main.

Le mélange de cacao et de sucre amené à être aussi parfait que possible est porté sur la *broyeuse* qui présente deux, trois, quatre ou cinq cylindres en granit ou en porcelaine tournés au diamant noir : ces cylindres sont animés d'une vitesse de plus en plus grande depuis le cylindre d'entrée jusqu'au cylindre de sortie. De cette façon chaque cylindre ramasse la pâte du cylindre qui le précède et l'abandonne sur celui qui le suit. En même temps, par suite du serrage des cylindres les uns contre les autres et de la différence de vitesse de deux cylindres voisins, la pâte se trouve broyée, étirée et arrachée.

M. Beyer avait exposé déjà en 1878 une broyeuse à cylindres disposés sur un bâti oblique, de sorte que la pâte tombait naturellement d'une broyeuse sur la suivante sans que l'ouvrier eût à la recueillir et à la transporter ; aucun perfectionnement notable n'a été apporté à ce type de broyeuse.

La pâte, après l'opération de broyage, prend l'aspect d'une poudre plus ou moins maigre au toucher. Pour la rendre bien liante, on la fait reposer à l'étuve pendant un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

certain nombre d'heures : le beurre se liquéfie et imbibe la masse qui est ensuite portée dans le mélangeur où elle se trouve battue comme autrefois dans le mortier sous l'action du pilon.

La pâte est alors en état de recevoir dans le moule la forme sous laquelle elle pourra être vendue. L'idée de mouler le chocolat dans des moules en fer-blanc est ancienne ; cependant c'est seulement vers 1830 que la fabrication des moules s'établit à Paris d'une façon sérieuse. Elle y a fait de rapides progrès et jusqu'à ces dernières années les moulistes parisiens étaient les fournisseurs exclusifs du monde entier. Il n'est pas douteux que cette industrie essentiellement parisienne par son bon goût, par l'heureuse et inépuisable variété de ses modèles et de ses procédés, ne soutienne victorieusement la concurrence que lui ont value ses succès à l'étranger.

La maison Letang fils et la maison Marie Letang se sont acquis dans la chocolaterie et la confiserie une juste réputation consacrée par une longue et honorable carrière.

La maison Sommet nous a également présenté de très remarquables spécimens de sa fabrication.

Le moule rempli de pâte de chocolat est vivement secoué sur une claquette ou tapoteuse composée d'un bâti et d'une table à laquelle un rochet imprime des trépidations rapides qui ont pour effet de forcer la pâte à bien prendre toutes les formes du moule. Ces claquettes, très anciennes, ont reçu, il y a déjà longtemps, quelques perfectionnements dans le but d'en atténuer le bruit, mais il a toujours été impossible de supprimer le tapage résultant du sautillement des moules sur la table, puisque c'est la raison d'être de l'appareil.

Pour parer à cet inconvénient et en même temps pour simplifier la main-d'œuvre, M. Rousseau s'est proposé de substituer au moulage à la main le moulage par compression qui jusqu'alors ne s'était pratiqué que pour les articles de fantaisie : cigares, cigarettes, olives, amandes, etc., mais sa machine, exposée dans la classe 50, n'avait pas encore été essayée et il n'est pas permis de dire si son emploi marquera un perfectionnement dans le dressage du chocolat.

Au nombre des outils destinés à la fabrication des articles de fantaisie et bonbons de chocolat, nous ferons mention de la machine de M. Guérin-Boutron qui découpe les pralinés destinés à être recouverts de chocolat.

Les tablettes moulées doivent être refroidies avant d'être démoulées : longtemps on s'est contenté de les déposer sur des tables refroidies par un courant d'air intérieur, ou dans des galeries parcourues par un courant d'air froid, l'abaissement de température étant produit par l'un ou l'autre des procédés que nous avons pu admirer dans la classe 50 et qui sont décrits dans un précédent chapitre de ce travail.

Mais, dès 1878, frappés de l'inconvénient qu'il y avait à encombrer de grands espaces et à soumettre le chocolat à une manutention coûteuse, MM. Lombart et Billaudot ont eu l'idée de mettre les tablettes en mouvement en les exposant au refroidissement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

méthodique au moyen d'un courant d'air forcé. Leur appareil a figuré à l'Exposition de 1878 et depuis lors la plupart des grands chocolatiers l'ont adopté avec de légères variantes.

Pour cet appareil comme pour les autres outils que nous venons de décrire, il y a peu de perfectionnements à enregistrer depuis 1878 : faut-il en conclure que les chocolatiers soient actuellement en possession du matériel le mieux approprié à leur industrie ou que les inventeurs ne connaissent pas suffisamment le vaste domaine que leur offre la chocolaterie ? Cette dernière hypothèse est certainement la plus juste et nous devons faire des vœux pour que la prochaine Exposition nous dédommage amplement.

MATÉRIEL DE LA CONFISERIE.

On peut faire pour le matériel de la confiserie la même remarque que pour le matériel de la chocolaterie. Les améliorations réalisées depuis la dernière Exposition sont insignifiantes.

Le travail du sucre se fait à la main ou mécaniquement, le chauffage se fait à feu nu ou à la vapeur. Nous donnerons comme exemple la fabrication des dragées qui se fait à la main avec des *branlantes*, grandes bassines plates attachées par deux cordes à un fléau mobile en tous sens au-dessus d'un réchaud à coke ou à gaz.

Ces branlantes, munies de deux poignées, reçoivent du dragiste des impulsions qui font rouler la dragée avec le sirop dont on les arrose.

A ces branlantes on a substitué des turbines à dragées tournant autour d'un axe incliné d'environ 45 degrés sur l'horizontale. Ces turbines, mues mécaniquement, sont chauffées à la vapeur au moyen d'un serpentin à tube plat enroulé extérieurement à la paroi. Un courant d'air lancé dans la turbine par un ventilateur produit l'effet obtenu par le dragiste à la main en faisant sauter ses dragées dans la branlante. Les turbines à dragées sont anciennes et aucun perfectionnement notable n'y a été apporté. Toutefois il est bon de dire que si la turbine chauffée à la vapeur est un perfectionnement au point de vue de la quantité produite et du bon marché de la fabrication, la qualité du produit est sensiblement inférieure : la dragée mécanique, aussi belle d'aspect que la dragée à la main, est beaucoup moins tendre et les maisons qui s'attachent à fabriquer le bonbon fin s'en tiennent toujours à l'ancienne branlante.

Quant à la cuite du sucre à la vapeur, à air libre ou dans le vide, elle ne présente aucune particularité bien remarquable. Les bassines à vapeur à air libre ou *conches* peuvent recevoir divers mouvements pendant que des palettes font subir à la masse un brassage convenable. Telles sont les machines à guimauve et à nougat exposées par la maison Lecornu et la maison Legaire.

Les bassines à cuire dans le vide sont semblables aux grands appareils de sucrerie ; elles ne s'en distinguent que par la coupole mobile qui peut s'enlever pour permettre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la vidange de la cuite. La maison Egrot a étudié avec beaucoup de soin l'adaptation de ces appareils à la confiserie.

Les articles de confiserie, pastilles ou bonbons, se fabriquent à la main ou dans des moules. Dans le premier cas l'habileté de l'ouvrier intervient seule; dans le second cas, au contraire, les perfectionnements mécaniques peuvent avoir place.

Les moules sont constitués de deux façons : soit au moyen de parties mobiles que l'on rapproche et que l'on serre après avoir rempli les vides avec du sucre; soit au moyen de deux ou plusieurs cylindres tournant l'un contre l'autre et présentant en creux des empreintes qui se correspondent d'un cylindre à l'autre.

Le pilulier mécanique de M. Maillard, de New-York, est une heureuse combinaison de ces cylindres avec des dispositions qui permettent d'obtenir les bonbons refroidis et prêts à être mis en boîte.

Sa machine à pastilles est aussi très remarquable par la perfection des produits qu'elle donne, grâce à la facilité de réglage de tous ses organes. Le sucre est versé dans une auge à double enveloppe réchauffée par la vapeur. Au fond de cette auge sont pratiqués des trous cylindriques exactement bouchés par une série de broches montées sur une même traverse et animées d'un mouvement vertical alternatif. Chaque orifice ouvert et fermé laisse passer la quantité de sucre nécessaire pour former une pastille. Des plaques se déplaçant au-dessous, sur un transporteur à courroies, reçoivent les pastilles dont la grosseur varie à volonté et qui peuvent être à une ou deux couleurs. Dans ce cas, il suffit de placer au milieu de l'auge et dans le sens de sa longueur une cloison creuse de part et d'autre de laquelle on verse les venues de sucre de couleur différente.

Nous signalerons également la pastilleuse de Mme veuve Rangod.

En résumé, à l'exception des pastilleuses dont nous venons de parler, l'outillage de la confiserie n'a pas fait de progrès sensible depuis 1878. Il faut dire, du reste, que dans cette industrie le bon goût et le talent de l'ouvrier pourront difficilement se remplacer par le travail des machines.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES ALIMENTS.

La préparation des aliments composés a pris une telle importance que les procédés rudimentaires employés jadis ont dû être remplacés par des procédés mécaniques.

Le charcutier employait autrefois le billot de bois et le couteau pour débiter les viandes; à l'aide du hachoir à main, il réduisait ses viandes à l'état de pulpes qu'il mélangeait intimement pour en obtenir divers produits.

Mais cette façon d'opérer, pénible en elle-même, était lente et coûteuse et donnait lieu souvent à des inconvénients fâcheux, en raison du bruit qu'elle occasionnait.

Heureusement, la mécanique, toujours en éveil, vint porter remède à cette situation et faire disparaître ces inconvénients. Le hachoir mécanique fut inventé et, dès

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1844, M. Mareschal, fondateur de la maison qui, aujourd'hui encore, porte son nom, construisit un appareil qui devint le type du genre.

Les hachoirs peuvent se grouper en deux classes :

Dans les uns, la lame est animée d'un mouvement rotatif, et, dans les autres, d'un mouvement rectiligne alternatif.

Dans les premiers, la cuvette qui renferme les viandes est métallique et la lame mobile passe devant une contre-lame : l'action est analogue à celle d'une cisaille.

Dans les seconds, la contre-lame n'existe pas et la lame horizontale, se mouvant de haut en bas, vient buter sur un plateau de bois : l'action est analogué à celle que produisait le charcutier avec son couperet ou son hachoir sur son billot.

Suivant les cas, l'un ou l'autre type peut être adopté, mais il semble que, pour le hachage des viandes, la cuvette métallique doive être préférée parce qu'elle se prête mieux que le bois à un nettoyage irréprochable.

Le hachoir Mareschal se compose d'une cuvette métallique, de forme exactement hémisphérique. A l'intérieur de cette cuvette et suivant un grand cercle dont le plan est vertical, une contre-lame fixe épouse exactement la forme de la cuvette.

Les lames, en forme de croissants, sont montées sur un arbre horizontal dont les paliers sont fixés à une table en fonte que l'on peut faire tourner autour d'un axe horizontal de façon à découvrir complètement la cuvette pour le chargement ou le déchargement du hachoir.

La cuvette, portant extérieurement une couronne dentée horizontale, est animée d'un mouvement de rotation continu grâce auquel le hachis est constamment dirigé sur la contre-lame fixe dont l'une des faces fait office de racloir, l'autre face agissant à proprement parler comme contre-lame pendant que les lames rotatives se déplacent vivement devant elle.

Pour augmenter le rendement, on a construit des hachoirs à deux arbres porte-lames, de sorte que la viande est hachée à chaque demi-révolution au lieu de l'être à chaque révolution.

Dans la seconde catégorie, nous citerons le hachoir de M. Cremault et celui de M. Bouchet.

Le premier, très bien construit, se compose d'un arbre horizontal sur lequel sont calés, sous des angles différents, des excentriques actionnant des bielles verticales portant chacune une lame horizontale. La cuvette tournante est formée d'un disque horizontal en bois avec un rebord circulaire en fonte. Le hachis est constamment retourné par un ramasseur et présente toujours de nouvelles faces à l'action des lames.

Le hachoir de M. Bouchet se compose d'une cuvette analogue à la précédente, mais les lames sont montées sur un cadre mû par deux excentriques de forme différente, de sorte que les lames en s'abaissant reproduisent le mouvement du couteau à main.

Ces hachoirs ne sont pas utilisés seulement pour la préparation des viandes et des herbes cuites, ils le sont encore dans les confiseries pour le hachage des amandes et,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans les parfumeries, pour la coloration des savons : le savon blanc est mis dans la cuvette avec une matière colorante en poudre et la trituration se fait sous les yeux de l'ouvrier qui règle à volonté l'intensité de la coloration.

A côté de ces hachoirs qui sont de véritables machines industrielles, il en est d'autres, de dimensions beaucoup moindres, que l'on emploie couramment dans les cuisines.

Ils se composent d'une vis d'Archimède montée dans une gaine et entraînant la matière à hacher pour la presser contre un plateau fixe présentant des ouvertures radiales devant lesquelles se déplacent une ou plusieurs lames montées sur le même axe que la vis.

Ou bien encore le hachage se fait en même temps que la propulsion au moyen de lames fixées à l'intérieur des parois de la gaine, normalement à l'axe, et de contre-lames mobiles montées sur l'axe et disposées en spirale.

Les maisons Jean, Naulot, Parod, etc., construisent en grandes quantités ces appareils pour lesquels, d'ailleurs, l'Amérique nous fait une très active concurrence.

La maison Naulot, dont nous venons de parler, s'est fait une spécialité de la construction de machines très ingénieuses pour tailler la soupe, pour peler les légumes et les fruits.

Le taille-soupe est formé d'un tronc de cône métallique tournant autour d'un axe horizontal et présentant plusieurs fentes suivant des arcs d'hélice très inclinés sur les génératrices du cône. Au droit de la fente, et extérieurement à la surface du tronc de cône, est fixée une lame qui en épouse la forme. Le tout est recouvert d'une trémie qui reçoit le pain à tailler ; l'épaisseur des tranches est limitée par l'ouverture de la fente disposée en forme d'hélice et chaque tranche une fois coupée passe à l'intérieur du tronc de cône dont elle s'échappe pour tomber dans un panier.

La machine à peler les pommes se compose d'un axe horizontal à l'extrémité duquel on enfourche la pomme. Une lame de rabot à l'extrémité d'un support vertical attaque la pomme sur le côté. Un ressort à boudin, convenablement placé, presse le rabot contre la pomme. Le support vertical décrit un demi-cercle en se déplaçant parallèlement à lui-même.

L'axe horizontal qui porte la pomme, étant animé d'un mouvement de rotation, le rabot découpe la pomme en ruban continu.

Pour les légumes, la pelure au lieu d'être coupée est simplement râpée. A cet effet, que l'on imagine un baquet en tôle perforée, la face interne de la tôle présentant l'aspect d'une râpe à sucre ; le fond de ce baquet, également perforé, est animé d'un mouvement de rotation rapide autour de son axe vertical ; les légumes sont projetés contre les trous de la râpe de la périphérie, ils rebondissent vers le centre, sont de nouveau projetés et ainsi de suite.

Les fragments de pelure déchiquetée qui ont pénétré dans les trous de râpe en sont chassés par un courant d'eau continuel arrivant au centre du baquet.

Le tout est renfermé dans une cuve en tôle, et l'eau est remontée dans le baquet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'aide d'une petite pompe qui fait partie de l'appareil ; cette eau traversant une crépine, les détritus restent séparés.

Il importe d'arrêter l'opération au point voulu, sans quoi l'on arriverait à râper complètement les légumes.

Enfin les légumes pelés peuvent être découpés dans un coupe-julienne. Un disque vertical présente une série d'ouvertures dirigées suivant des rayons ; sur un des bords de chaque ouverture est fixée une lame, dentée comme une scie ; une trémie est adaptée sur la face du disque qui porte les lames. En imprimant au disque un mouvement de rotation rapide, les légumes se trouvent comme raclés par les lames et sont coupés en julienne.

Dans la catégorie des machines à peler rentre la *machine à écosser les pois verts*, de M. Peltier (de la maison Peltier et Paillard), machine inventée en 1884 et construite actuellement par M. Navarre.

Elle se compose essentiellement d'un batteur de 2 à 3 mètres de long, analogue au batteur des machines à battre le blé, et d'un contre-batteur cylindrique en tôle perforée, muni de six à huit battes et tournant autour du même axe que le batteur. Le contre-batteur porte à l'une de ses extrémités une couronne dentée actionnée par un engrenage, et, à l'autre extrémité, il roule librement sur des galets. Il peut tourner dans le même sens que le batteur ou en sens contraire suivant les conditions du travail.

Les petits pois en cosse sont jetés à une extrémité du batteur et aussitôt projetés à la circonférence ; l'écartement du batteur et du contre-batteur étant réglé, les cosses se trouvent arrachées, et les pois mis en liberté traversent la tôle perforée pendant que les cosses s'écoulent par l'autre extrémité du batteur, l'axe étant légèrement incliné vers la sortie.

Les pois sont débarrassés mécaniquement des débris de cosses qui peuvent avoir traversé la tôle perforée et ils sont classés, toujours mécaniquement, par ordre de grosseur.

Cette machine, très étudiée et très pratique, a reçu de nombreuses applications à l'étranger d'abord, ensuite en France, et son emploi tend à se généraliser en raison des services qu'elle rend à l'industrie des conserves alimentaires.

La maison Navarre construit encore une machine à tourner les fonds d'artichaut ; c'est simplement un outil qui se monte sur le tour ; il se compose d'une calotte sphérique en bronze fendue partiellement suivant un grand cercle de la sphère. Par la fente, passe une lame de rabot profilée suivant la section de la calotte. Cet outil étant monté sur le tour, il suffit de lui présenter le fond d'un artichaut pour que celui-ci soit très proprement et très régulièrement découpé. Les fonds d'artichaut ainsi préparés sont mis en conserves.

Nous passons sous silence un certain nombre de petits outils très ingénieux servant à la préparation des aliments, mais n'ayant pas d'emploi dans l'industrie alimentaire proprement dite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Nous ne pouvons toutefois abandonner ce sujet sans mentionner l'heureuse transformation qui s'est faite au cours de ces dernières années dans l'installation de nos boucheries et de nos charcuteries modernes.

Naguère encore, la boutique du boucher et celle du charcutier inspiraient bien souvent un sentiment voisin de la répugnance ; la vue des chairs pantelantes ou des victuailles accumulées dans un espace restreint et l'odeur qui s'en exhalait n'étaient certes pas faites pour aiguiser l'appétit de l'acheteur.

Maintenant, au contraire, grâce aux soins apportés à la ventilation et à l'éclairage, grâce à la combinaison judicieuse et vraiment artistique de la céramique, du bois et du fer, on est arrivé à donner, à tous égards, satisfaction au bon goût du public.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Composition du jury de la classe 50 3

Matériel des industries agricoles et des industries alimentaires 5

Chapitre I. Coup d'œil d'ensemble sur les industries réunies dans la classe 50. — Rapport de M. Aimé Girard 7

Matériel et procédés de la meunerie. — Rapport de M. A. Béthouart 19

Chapitre II. Matériel et procédés de la meunerie. — Considérations générales 21

I. Nettoyage du blé 25

Appareils du nettoyage du blé 27

II. Mouture ou réduction du blé 35

Conclusion 46

III. Blutage et sassage 69

Articles divers 79

Conclusion 80

Matériel et procédés de la boulangerie. — Rapport de M. Lucas 81

Chapitre III. Matériel et procédés de la boulangerie 83

1. Considérations générales 83

2. Pétrins mécaniques 87

3. Fours de boulangerie 92

4. Conclusion 99

Matériel et procédés de l'industrie sucrière. — Rapport de M. Émile Boire 103

Chapitre IV. Matériel et procédés de l'industrie sucrière 105

Matériel et procédés de l'industrie de l'alcool. — Rapport de M. Émile Boire 133

Chapitre V. Matériel et procédés de l'industrie de l'alcool 135

Matériel de la brasserie et de la vinaigrerie. — Rapport de M. Égrot 153

Chapitre VI. Matériel de la brasserie et de la vinaigrerie 155

Machines à produire le froid et la glace. — Rapport de M. Barrier 159

Chapitre VII. Machines à produire le froid et la glace 161

Appareils frigorifiques et leurs applications 161

Première partie. — Procédés de production artificielle du froid 164

Appareils industriels de production du froid 165

Classification des machines frigorifiques 165

Machines à compression mécanique 167

Machines à acide sulfureux 186

Machines à chlorure de méthyle 198

Imprimerie nationale

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Machines à gaz ammoniac anhydre. 202
Machines à acide carbonique 220
Résumé. 227
Machines à affinité ou à gaz soluble 231
Appareils continus domestiques. 240
Rendement et choix de machines à froid. 242
Appareils intermittents domestiques 253
Buffets, timbres et glacières. 258

Deuxième partie. — Application du froid artificiel. 260
Fabrication industrielle de la glace. 260
Production et transmission de l'air froid. 266
Procédés de refroidissement des locaux. 267
Construction et isolement des chambres froides. 285
Conservation industrielle des viandes. 295
Transport des denrées alimentaires frigorifiées. 313
Emploi du froid dans la fabrication de la bière. 320
Diverses autres applications du froid. 325
Conclusions. 331

MACHINES DESTINÉES À LA FABRICATION DES HUILES, DES PÂTES ALIMENTAIRES, ETC. — Rapport de M. A. ROUART. 333

Chapitre VIII. — Machines destinées à la fabrication des huiles, etc. 335
Fabrication des huiles de graines. 336
Fabrication des huiles d'olive. 337
Fabrication de la margarine. 339
Presse pour pâtes alimentaires. 339

APPAREILS POUR LA FABRICATION DES EAUX GAZEUSES. — Rapport de M. JOULIE. 341

Chapitre IX. — Appareils pour la fabrication des eaux gazeuses. 343
Boissons à acide carbonique. 343
Eau oxygénée. 352
Eau aérée. 353

MATÉRIEL DE LA CHOCOLATERIE, DE LA CONFISERIE ET DE LA PRÉPARATION MÉCANIQUE DES ALIMENTS. — Rapport de M. A. LOMBART. 355

Chapitre X. — Matériel de la chocolaterie, de la confiserie, etc. 357
Matériel de la chocolaterie. 357
Matériel de la confiserie. 362
Préparation mécanique des aliments. 363

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CLASSE 51

Matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie

---

RAPPORT DU JURY INTERNATIONAL

PAR

M. CHARLES BARDY

DIRECTEUR DES LABORATOIRES DU MINISTÈRE DES FINANCES

(Contributions indirectes)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

COMPOSITION DU JURY.

MM. Perret (Michel), *Président,* administrateur de la Société anonyme des manufactures de glaces et produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Cirey, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878	France.
Swarts (Th.), *Vice-Président,* professeur à l'Université de Gand	Belgique
Bardy, *Rapporteur,* directeur du laboratoire des contributions indirectes, membre du jury des récompenses à l'Exposition de Paris en 1878	France.
Deutsch (Henry), *Secrétaire,* raffineur d'huiles minérales et végétales, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878	France.
Berendorf, constructeur de machines et appareils pour tanneries, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878	France.
Vincent, ingénieur civil, professeur à l'École centrale des arts et manufactures, médaille d'or à l'Exposition de Paris en 1878	France.
Évans (W.-W.), *suppléant*	États-Unis.
Droux (Léon), *suppléant,* ingénieur civil	France.
Billault, *expert*	France.
Capgrand-Mothes, *expert*	France.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIEL DES ARTS CHIMIQUES,

DE LA PHARMACIE ET DE LA TANNERIE.

INTRODUCTION.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Les produits exposés dans la classe 51 peuvent se diviser en dix groupes :

1° Les procédés et appareils de la céramique (terres et produits réfractaires);
2° Les procédés et appareils de la tannerie, de la mégisserie, de la corroirie;
3° Les procédés et appareils de la grande industrie chimique;
4° Les procédés et appareils de la stéarinerie et de la savonnerie;
5° Les procédés et appareils de la pharmacie;
6° Les procédés et appareils de la verrerie;
7° Les procédés et appareils de la fabrication du gaz;
8° Les procédés et appareils de l'industrie du pétrole;
9° Les procédés et appareils de la blanchisserie;
10° Les instruments de laboratoire.

Le nombre des exposants a été de 240 se répartissant en :

Français	180
Étrangers	60

182 récompenses ont été décernées, savoir :

Grands prix		6
Médailles	d'or	29
	d'argent	52
	de bronze	61
Mentions honorables		34

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La section française occupait 2,560 m. q. 25 dans la grande galerie des machines, dont 2,260 m. q. 25 au rez-de-chaussée pour les machines en mouvement et le matériel lourd et encombrant, et 300 mètres carrés au premier étage pour le matériel de la pharmacie et des laboratoires. Ces surfaces n'étaient pas en réalité celles occupées par les exposants; il faut en déduire 766 m. q. 50 au rez-de-chaussée et 100 mètres carrés au premier étage pour l'emplacement consacré aux chemins principaux.

Un pavillon spécial de 518 mètres carrés et un diorama avaient été installés pour l'industrie du pétrole sur la berge de la Seine. La surface utile occupée par les exposants de la section française était donc de 2,211 m. q. 75, pour un emplacement de 3,078 m. q. 25 attribué par l'Administration.

Les diverses expositions étrangères se trouvaient disséminées dans les pavillons de leurs nations respectives.

Parmi les hautes récompenses accordées ne figurent pas celles que le jury aurait été heureux de décerner à ceux de ses membres qui étaient exposants; cette lacune regrettable peut être comblée dans la mesure du possible : le règlement du jury des récompenses portait, en effet, que tout produit exposé devait être jugé et apprécié et que mention devait en être faite dans le rapport spécial à chaque classe. Nous aurons donc à développer dans le cours de ce travail les appréciations du jury sur les expositions et les travaux des industriels qui étaient à la fois exposants et membres du jury.

La grande diversité des industries figurant dans la classe 51 rendait très difficile la tâche du jury; pour mener à bonne fin ses opérations il a usé de la faculté que lui accordait le règlement de s'adjoindre, à titre d'experts, des hommes compétents dans les spécialités qui ne se trouvaient pas représentées d'une manière effective dans le jury : MM. Billault et Capgrand nous ont prêté un concours dévoué pour l'appréciation du matériel de la fabrication et de la préparation des produits pharmaceutiques; le jury leur adresse ici tous ses remerciements.

L'industrie du gaz, qui avait si brillamment figuré à l'Exposition de 1878, ne comptait, en 1889, qu'un nombre très restreint d'exposants et la plupart pour les compteurs à gaz. Comme aucun représentant de l'industrie du gaz ne se trouvait au nombre des membres du jury, de pressantes démarches ont été faites successivement auprès des notabilités de cette industrie pour solliciter leur concours à titre d'expert; le jury a eu le regret de voir ses démarches échouer : toutes les personnes auxquelles il s'est adressé ont décliné les offres qui leur ont été faites. Dans ces conditions, le jury s'est entouré de tous les renseignements qu'il a pu puiser à des sources officieuses, il a jugé avec ses propres ressources et il croit l'avoir fait avec toute l'équité désirable.

Le rapport des opérations du jury des récompenses peut se comprendre de deux manières différentes : soit prendre dans chaque spécialité la liste des récompenses, apprécier les produits présentés par chacun des exposants et développer les raisons qui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont amené le jury à attribuer telle ou telle récompense; ou bien dégager les progrès accomplis dans chaque industrie depuis la dernière Exposition, les mettre en lumière, indiquer l'influence qu'ils ont eue ou qu'ils pourront avoir sur le développement de l'industrie et passer sous silence les récompenses attribuées aux exposants qui n'ont fait que maintenir leur réputation établie sans apporter de nouveaux matériaux à l'édifice commun.

La première manière peut donner plus de satisfaction à l'amour-propre des exposants, mais elle entraîne à des redites continuelles, à des résumés qui figurent déjà dans les rapports des expositions antérieures; elle n'est que le commentaire plus ou moins développé de la liste des récompenses. La seconde manière, au contraire, beaucoup plus succincte, permet une étude plus facile et donne, pour les expositions futures, un point de repère plus certain et plus net.

Nous avons cru devoir prendre cette dernière méthode. Dans des chapitres distincts nous passerons en revue chacune des diverses branches d'industrie énumérées plus haut, nous mentionnerons les progrès nouveaux, accomplis ou en voie de réalisation, et nous nous efforcerons de mettre en relief toutes les ressources que les méthodes chimiques, physiques et mécaniques les plus perfectionnées, créées par la science moderne, offrent à l'industrie. Une telle étude ne peut forcément comprendre que les grandes lignes, mais, pour être complète, elle doit également faire mention de tous les exposants qui ont su mettre ou maintenir leurs maisons à la tête de leur industrie et qui, sans avoir fait de créations nouvelles, ont néanmoins réalisé certains progrès.

Ces considérations étant celles qui ont déterminé l'attribution des médailles d'or, nous placerons en tête de chaque chapitre, et par ordre de classement, la liste de toutes les médailles d'or. Nous ne ferons de dérogation à cette règle que pour les industries où la médaille d'argent se trouve être la plus haute récompense. Dans plusieurs cas le jury a eu à juger des maisons ayant obtenu des récompenses assez élevées aux expositions antérieures, mais qui, se reposant sur leurs succès passés, n'ont fait aucun progrès sensible.

D'après le règlement de l'Exposition on ne pouvait décerner de rappel de récompenses. La majorité du jury a cependant cru devoir attribuer à certains exposants des récompenses égales à celles obtenues antérieurement par eux, bien qu'ils n'eussent accompli aucun progrès dans la période décennale. Les membres formant la minorité ont vu avec regret ces attributions de récompenses, estimant avec raison que toute maison restant stationnaire décroît et n'a pas droit aux mêmes récompenses que celles qui, par leur activité, leur intelligence et leurs efforts constants, font progresser l'art ou l'industrie.

Le jury a vu aussi avec regret des industriels, naguère encore employés dans de grandes maisons, fonder à côté des industries similaires et présenter leurs produits au concours, alors que ces produits ne sont que la copie exacte de ceux qu'ils avaient appris à fabriquer ailleurs.

Autant l'esprit d'initiative est louable et digne d'encouragement, autant sont blâ-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mables de semblables agissements; aussi, dans ces cas spéciaux, le jury n'a pas hésité à se montrer très sévère et a-t-il cru devoir ne donner que des récompenses d'ordre inférieur, bien que les produits présentés fussent de bonne fabrication.

Pour rédiger les notices consacrées aux produits récompensés nous avons eu recours aux documents fournis par les exposants ainsi qu'à tous les renseignements qui ont pu être réunis, soit pour les contrôler, soit pour les compléter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

I

PRODUITS CÉRAMIQUES.

CÉRAMIQUE. — FOURS.

Nombre des exposants : 34.

Français	23
Anglais	5
Belges	5
Espagnol	1

HORS CONCOURS.

MM. Michel Perret	*Président du jury.*
Gastellier	*Membre du jury* (classe 20).

RÉCOMPENSES DÉCERNÉES.

Médailles d'or	6

MM. Muller (Émile) et Cie	France.
Société anonyme des produits réfractaires et terres plastiques de Seilles-les-Andenne	Belgique.
MM. Lachomette (P. de) et Cie	France.
M. Louis Escoyez	Belgique.
Société française de fabrication mécanique de cornues à gaz	France.
M. Huyard	France.

Médailles	d'argent	14
	de bronze	6
Mentions honorables		3

L'industrie de la céramique, appliquée à la fabrication des matériaux réfractaires, était largement représentée à l'Exposition de 1889.

La plupart des maisons qui avaient concouru en 1878 avaient tenu à honneur de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se représenter; on a ainsi pu constater les progrès réalisés pendant la période décennale. Ces progrès se rattachent :

1° A la fabrication mécanique des cornues à gaz;

2° A la préparation des matériaux éminemment réfractaires destinés à la métallurgie;

3° A une nouvelle application des foyers à étage.

FABRICATION MÉCANIQUE DES CORNUES À GAZ.

La fabrication des cornues à gaz en terre réfractaire remonte à 1839; elle est due à Béna, potier à la verrerie de Sèvres. Avant cette époque la distillation de la houille s'opérait uniquement dans des cornues en fonte; toutes les tentatives faites en vue de substituer la terre à la fonte avaient échoué.

Les difficultés dans l'emploi des matières céramiques consistaient dans les variations de température que subit la cornue pendant les opérations de chargement et de déchargement; il fallait trouver une composition de terre réfractaire possédant assez d'élasticité pour se prêter aux dilatations inégales sans se briser.

Le procédé qui a permis de résoudre le problème consiste à éliminer la partie fine des matières maigres qui entrent dans la composition de la pâte; cette matière maigre ainsi préparée est à l'état de grenaille comme des grains de riz et se trouve logée dans des espèces d'alvéoles formées par le retrait de l'argile plastique qui les entoure. Ces grains peuvent donc vibrer dans leur logement et se comporter à leur aise suivant les températures qu'ils subissent. Pendant plus de quarante ans cette fabrication n'a subi aucune modification importante et elle n'a cessé d'être faite à la main.

Voici en quelques mots comment on procède pour fabriquer une cornue :

Sur une plate-forme, appelée *fonceau*, on applique au moyen de boulons un premier moule d'une section ayant les dimensions extérieures de la cornue et dont la hauteur est ordinairement du quart de la hauteur totale de la pièce.

L'ouvrier découpe dans le mélange de terre convenablement préparé des plaques de 30 centimètres carrés environ et de 15 centimètres d'épaisseur qu'il dépose sur le fonceau et qu'il soude entre elles en les comprimant au moyen d'un pilon. Par un battage énergique il réduit l'épaisseur de ces plaques à 10 centimètres en même temps qu'il oblige la matière en excès à remonter contre les parois du premier moule. Il obtient ainsi le fond de la cornue et l'amorce des parois verticales. Il commence alors le montage de la cornue; pour cela il emplit le moule d'une couche de terre, qu'il ajoute par portions successives et qu'il bat aussi régulièrement que possible de manière à obtenir une épaisseur constante — ordinairement 7 centimètres — ainsi qu'une compression égale et par suite une grande homogénéité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsque le premier moule est rempli on lui superpose le second, que l'on assujettit à l'aide de boulons, puis on continue le montage de la manière indiquée. On place ensuite le troisième moule, puis le quatrième qui doit former la tête de la cornue.

Il faut ordinairement deux journées à un ouvrier habile pour terminer une cornue.

Ce mode de travail présente plusieurs inconvénients : il est rare que l'ouvrier puisse rigoureusement maintenir l'épaisseur à la dimension déterminée, il est souvent obligé d'ajouter de la terre dans les parties affaiblies : ces retouches peuvent donner lieu à des soudures imparfaites ou à des manques d'homogénéité par défaut ou excès de battage; de plus, la soudure nécessitée à la jonction de chaque moule expose aux mêmes imperfections; la cornue ne pouvant s'achever dans un jour est forcément laissée en repos pendant la nuit, de là une reprise qui peut être mauvaise, car il est difficile d'empêcher la terre de durcir, de croûter et par suite d'offrir une chance de mauvaise soudure avec la terre nouvelle. Enfin l'intérieur de la cornue, quelque bien battu qu'on le suppose, n'est jamais absolument lisse et offre des irrégularités donnant une prise facile à la carburation, c'est-à-dire au dépôt de graphite.

Ces diverses causes, jointes aux battages inégaux, laissant des parties d'une densité différente, exposent les cornues à des chances multiples de rupture lors des dilatations et des contractions brusques qui se produisent dans le service normal de la fabrication du gaz.

Un premier perfectionnement a été introduit dans la fabrication des cornues : c'est celui qui consiste à produire le corps de la cornue en une seule pièce à l'aide d'une presse forçant la terre à sortir par un orifice de la section que doit avoir la cornue. De beaux spécimens de cette fabrication étaient exposés par la Société française pour la fabrication mécanique des cornues à gaz dont M. E. Dorigny est le directeur.

Dans ce système, la machine à fabriquer les cornues se compose de deux cylindres, l'un à vapeur, l'autre à terre, dans lesquels se meuvent symétriquement deux plateaux reliés entre eux et glissant sur la même tige fixe.

L'un de ces plateaux est mû par la vapeur et l'autre, qui lui est symétrique, presse la terre pour la faire sortir par l'orifice laissé libre, orifice qui représente exactement la forme de la cornue que l'on veut fabriquer.

La terre nécessaire à la fabrication mécanique des cornues est préparée exactement de la même manière que pour celles faites à la main, elle est introduite dans le cylindre à terre d'où elle est chassée par la pression exercée sur le plateau à vapeur qui donne l'impulsion au plateau presseur.

La machine qui sert à la Société française fonctionne à la pression de 120,000 kilogrammes; elle peut produire environ 5 cornues à l'heure.

A sa sortie de la matrice, la cornue est reçue sur un plateau, qui descend avec elle, lui fait contrepoids et qu'on peut arrêter à la longueur déterminée pour la cornue.

Il ne reste plus qu'à souder le fond et à former la tête.

On conçoit que dans ces conditions la cornue mécanique possède dans toute la lon-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gueur du tube une régularité et une homogénéité parfaites, puisque la terre subit une pression constante pendant tout le temps du moulage et est obligée de sortir par un orifice dont la section ne peut varier. De plus sa densité est plus grande puisque la pression employée est beaucoup plus forte que celle donnée à la main (le mètre cube de terre travaillée à la main pèse 2,012 kilogrammes, le mètre cube de terre pressée à la machine pèse 2,308 kilogrammes, soit environ un huitième en plus).

Les cornues ainsi fabriquées n'ont plus les dangers de cassure aux quatre ou cinq parties des jonctions des moules que présentent les cornues faites à la main; leur grande homogénéité assure un jeu plus régulier aux dilatations et aux contractions; enfin, eu égard à leur grande régularité de forme, elles offrent au graphite bien moins d'aspérités après lesquelles il peut s'accrocher et par suite les cornues se carburent beaucoup moins vite et peuvent fonctionner très longtemps sans être décarburées.

Ce mode de fabrication offre en outre l'avantage de la grande économie de temps et de main-d'œuvre, il a permis d'abaisser le prix de vente des cornues (de 2 m. 70 à 2 m. 80 de longueur) de 250 francs à 75 francs.

La Société française de fabrication mécanique de cornues à gaz existe depuis 1879; elle a succédé à M. Béna dont l'établissement date de 1839. Fondée d'abord en vue de la fabrication mécanique des cornues à gaz, elle a bientôt élargi le cadre de ses opérations; elle produit aujourd'hui toutes sortes de pièces réfractaires fort estimées.

Son exposition très variée comprenait, entre autres pièces remarquées par le jury, deux cornues à gaz de 3 m. 67 de long, de très belles dalles pour fours et calorifères Michel Perret, des boîtes pour la cuisson des crayons électriques, la fabrication du bioxyde de barium, etc., des briques pour la construction des cubilots, des fourneaux de fondeur en cuivre, etc.

Les cornues mécaniques, fabriquées ainsi qu'il vient d'être dit, présentent encore un inconvénient: le fond et la tête ne sont pas produits en même temps que le corps et doivent être ultérieurement rapportés et soudés; l'homogénéité n'est donc pas encore absolue et si les chances de cassure aux soudures sont diminuées dans une large mesure elles ne sont pas radicalement éliminées.

M. Morane jeune, en collaboration avec la Société anonyme des produits réfractaires et terres plastiques de Seilles-les-Andenne et de Bouffioud, dont M. Léon de Lattre est le directeur gérant, a étudié à nouveau la question et a présenté une solution très réussie du problème.

L'appareil imaginé par ces constructeurs figurait dans l'exposition de M. Morane jeune.

Il se compose :

1° D'un cylindre recevant la terre malaxée nécessaire à la fabrication de plusieurs cornues;

2° D'un cylindre hydraulique dont le plateau terminant le piston entre dans le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindre à terre. Ce piston est disposé pour marcher en avant et en arrière à l'aide d'un appareil de retour. Une disposition ingénieuse supprime l'usure rapide des cuirs, qui, dans les presses à double effet ordinaires, se trouvent habituellement montés sur le piston lui-même;

3° D'un mandrin avec matrice, porte-matrice et plaque de fermeture.

Le mandrin est suspendu à un croisillon en fonte; il a la forme intérieure de la cornue à obtenir; la matrice a la forme extérieure de la tête de la cornue. Elle est en deux pièces, ouverte suivant la plus grande largeur et placée dans le porte-matrice.

Le porte-matrice est également formé de deux pièces; il est boulonné sur le cylindre à terre. Il peut s'ouvrir et rouler sur des rails horizontaux au moyen de deux appareils hydrauliques auxquels chacune de ses parties se trouve reliée. La pression hydraulique de ces appareils est en outre utilisée pour maintenir la fermeture de la matrice pendant la fabrication de la cornue.

La plaque de fermeture vient obturer l'orifice de la matrice au commencement de l'opération de façon à permettre l'obtention du fond de la cornue;

4° D'une plate-forme avec mouvements hydrauliques, laquelle a pour but de monter et de descendre rapidement la plaque de fermeture de la matrice et de recevoir la cornue au fur et à mesure qu'elle sort du cylindre à terre.

Le mouvement spécial, qui actionne cette plate-forme, composé de crémaillères et d'engrenages mobiles, est relié au piston hydraulique comprimant la terre, afin d'assurer un rapport constant, pour chaque type de cornue, entre la vitesse de descente du piston et celle du passage de la terre dans la matrice.

Pour fabriquer une cornue on commence par remplir le cylindre à terre avec un mélange convenable, puis on fait descendre le piston qui, par son plateau, comprime la terre et l'oblige à remplir l'espace libre entre le mandrin, la matrice et la plaque de fermeture. Un petit robinet laisse échapper l'air confiné dans cet espace en sorte que la terre ne rencontrant aucun obstacle vient épouser toutes les formes du moule et produit ainsi le fond de la cornue. On retire à ce moment la plaque de fermeture, on amène la plate-forme au contact avec la terre et on continue la pression sur le piston à terre. La matière continue à passer entre le mandrin et la matrice, en prenant d'abord la forme de la tête de la cornue, puis elle sort de l'appareil par la filière qui se trouve au-dessous en donnant naissance au corps de la cornue. Lorsque cette partie a atteint la longueur voulue, on arrête la descente du plateau à terre, on écarte les deux parties du porte-matrice en faisant fonctionner deux appareils hydrauliques horizontaux et l'on découvre ainsi la tête de la cornue qui possède sa forme définitive. Il suffit alors de la couper autour du mandrin pour la détacher de la terre qui reste dans le cylindre et qui doit servir aux opérations suivantes.

La cornue se trouve ainsi réduite d'un seul jet sans aucune soudure, la seule opération manuelle qu'elle ait à subir consiste dans le percement des trous de boulons de tête.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette machine remarquablement bien étudiée et construite fait le plus grand honneur à ses auteurs; elle peut produire six cornues à l'heure et ne nécessite que le concours de quatre ouvriers. La terre reçoit une pression de 200,000 kilogrammes.

Il n'a encore été établi que deux de ces machines : celle exposée au Champ de Mars et celle qui fonctionne à l'usine de Seilles-les-Andenne; il est dont difficile de donner un avis définitif sur leur fonctionnement; cependant, eu égard à leur établissement robuste et bien compris, il ne paraît pas douteux qu'elles ne se répandent rapidement, surtout si les cornues qu'elles produisent possèdent toutes les qualités que l'on est en droit d'attendre. Quoi qu'il en soit de l'avenir réservé à cet ingénieux engin, on doit le considérer comme réalisant un progrès très réel vers la solution pratique de la fabrication mécanique des cornues à gaz, solution qui intéresse à tant de titres l'industrie du gaz, obligée aujourd'hui d'apporter dans ses procédés de fabrication toutes les économies possibles pour soutenir avantageusement la concurrence que lui créent les nouveaux modes d'éclairage électrique.

La Société des produits réfractaires et terres plastiques de Seilles-les-Andenne avait une exposition de tous points remarquable; elle comprenait, outre des cornues à gaz, des plaques et dalles perforées pour foyers Michel Perret, des briques et pièces pour fours de verrerie à bassin, des appareils en grès de très grandes dimensions, un cylindre pour tour de Glover de 1 m. 70 de diamètre intérieur, des récipients de 1,600 litres de capacité pour l'emmagasinage des acides, des vases pour accumulateurs, etc.

Toutes ces pièces se recommandaient à l'attention du jury, non seulement par leurs dimensions exceptionnelles, mais encore par le fini de leur exécution, la précision et la pureté de leur forme ainsi que par la régularité de leur fabrication.

Augoyard-Perron. *Médaille d'argent.* — Toutes les pièces en grès ou en poteries réfractaires exposées par cette maison étaient d'une exécution irréprochable; un grand vase en grès, d'une contenance de 2,140 litres, montrait aux visiteurs la supériorité de la terre employée à l'usine de la Font-Quentin ainsi que l'habileté des ouvriers qui ont procédé à sa confection : on sait en effet toutes les difficultés que l'on rencontre pour fabriquer des grandes pièces, les terres plastiques se déformant pendant la cuisson ou se fendant généralement pendant le refroidissement, et l'enfournement de ces pièces offrant des difficultés extrêmes. Le vase exposé a été cuit à une température de 1,900 degrés; il offrait une très grande pureté de forme et ne présentait aucun défaut et aucune fêlure.

A côté de cette pièce d'exposition, véritable tour de force industriel, figuraient des objets de fabrication courante, tels que ballons de condensation à joints simples et hydrauliques, colonnes d'absorption, monte-acides, caisses d'accumulateurs, tuyaux, robinets, qui témoignaient d'une très bonne exécution et qui placent cette maison dans un très bon rang.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

MATÉRIAUX ÉMINEMMENT RÉFRACTAIRES

DESTINÉS À LA MÉTALLURGIE.

Dès 1869, Émile Müller avait montré que la silice, rendue impalpable, était susceptible — soit seule, soit additionnée d'une très faible quantité de chaux — de devenir une matière plastique capable d'agglomérer la silice en grains et offrait ainsi le moyen de fabriquer des pièces éminemment réfractaires pour la métallurgie, la verrerie, etc.

A partir de cette époque, toute la métallurgie, qui était auparavant tributaire de l'Angleterre (la fabrique de Dinas produisant seule les matériaux capables de résister à la haute température de la fusion de l'acier), trouva facilement à s'approvisionner en France d'excellents matériaux.

C'est donc à Müller que l'on doit faire remonter l'honneur d'avoir créé cette industrie en France; si elle n'est pas restée centralisée à son usine d'Ivry et si des nécessités économiques l'ont forcée à se rapprocher des houillères, il n'en est pas moins vrai que le choix judicieux des matières premières et la perfection de la compression ont toujours assigné aux produits fabriqués par Müller une place exceptionnelle.

C'est à peu près aussi vers cette même année 1869 que Müller, en même temps que MM. Tessié du Mathay et Damour étudiaient les procédés de fabrication des briques de magnésie, parvint à rendre cette fabrication courante et proposa ces produits aux métallurgistes pour la construction des fours, en émettant le premier l'idée que la déphosphoration découlerait de cet emploi.

Ces efforts n'aboutirent pas; la nouvelle industrie, créée à grands frais, ne procura à son inventeur que des pertes importantes; on méconnut à cette époque les avantages indiqués, et il a fallu, comme trop souvent, hélas! que l'affaire revînt — dix ans plus tard — comme invention anglaise pour qu'on lui accordât faveur et crédit.

Tous les métallurgistes savent que c'est à MM. Valton et Remaury que sont dus les emplois pratiques du fer chromé pour les revêtements des fours et des appareils métallurgiques, préconisés dès 1876 par M. Audoin.

Ces ingénieurs ont prouvé par des expériences indiscutées que le fer chromé résiste aux plus hautes températures, à l'action de la silice libre, à celle des silicates des fours à garnitures silico-argileuses, et qu'en même temps le fer chromé n'est attaqué ni par les bases : chaux, magnésie, etc., ni par les scories basiques riches en oxydes métalliques ou terreux.

Mettant ces indications à profit, Müller a réussi, en suivant les indications des inventeurs, à faire des briques et des pièces de toutes formes, des garnitures de cubilots, etc., dont l'exécution ne laisse rien à désirer.

Si de grands et hardis travaux ont été tentés dans la fabrication du fer et de l'acier,

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ils n'ont pu être réalisés qu'à l'aide du concours que les inventeurs ont trouvé auprès des fabricants de produits réfractaires. C'est, en effet, grâce à l'habileté et à la persévérance des céramistes que des substances comme la silice, l'alumine, l'oxyde de chrome, le fer chromé, qui ne possèdent aucune plasticité, qui sont infusibles aux plus hautes températures et qui, pour ces raisons, présentaient des difficultés extrêmes de travail, ont pu être agglomérées et mises à la disposition de la métallurgie.

De beaux spécimens de ces produits éminemment réfractaires étaient exposés tant en France que dans les sections étrangères.

Le jury a particulièrement remarqué les expositions suivantes :

M. É. Müller présentait de belles briques en magnésie et en silice, ainsi que des pièces réfractaires en fer chromé aggloméré par 2 p. 100 de chaux.

Les creusets en plombagine, une des spécialités de cette maison, attestaient une fabrication très soignée; ces creusets ont, d'ailleurs, été adoptés par les ateliers de l'artillerie, les arsenaux français et une grande partie des ateliers particuliers, tributaires autrefois des fabricants anglais et américains.

Les plombagines employées par l'usine d'Ivry proviennent de la Hongrie, de la Bohême et de l'Italie; comme il est rare que tous les produits bruts de ces provenances soient aptes à la fabrication des creusets, laquelle réclame une plombagine de première qualité, il a fallu trouver un emploi aux produits de qualité inférieure. M. Müller fait subir à ces produits une purification appropriée, puis les prépare pour la lubrification des engrenages et des transmissions. Il les livre sous forme de poudre impalpable.

Les déchets et les plombagines grossières ne sont pas jetés; pulvérisés, puis moulés sous forme de petites tablettes, ils sont vendus pour la mise en noir et le lustrage des objets de fumisterie en tôle ou en fonte, le saupoudrage des moules de fonderie, etc.

M. P. Audoin avait présenté une exposition très intéressante des produits extra-réfractaires dont il a indiqué l'emploi possible en métallurgie dès 1869. On remarquait surtout des pièces en bauxite et en oxyde de chrome vert, agglomérées par des procédés tout à fait spéciaux sans aucune addition de matière étrangère.

Ces pièces, d'une grande densité, sont d'une solidité et d'une pureté de forme remarquables.

La bauxite est un hydrate d'alumine qui existe en amas abondants entre Tarascon et Antibes; façonnée en creusets ou en briques, elle résiste aux températures qui déforment toutes les matières réfractaires connues; malheureusement, elle est très difficile à mettre en œuvre, ne possède pas une composition constante et présente un retrait considérable qui s'accroît progressivement à chaque opération.

M. Audoin a reconnu que l'oxyde de chrome donne de meilleurs résultats. Il l'emploie soit à l'état de pureté, soit tel qu'on le trouve dans la nature.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« L'oxyde de chrome, ainsi que le constate M. Dumas dans un rapport présenté le 13 décembre 1878 à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, résiste d'une manière absolue aux plus hautes températures connues. Il n'est pas corrodé par les oxydes de fer en fusion, pas plus que par la silice; il ne prend pas de retrait comme les substances alumineuses et, si son prix est peut-être encore élevé en ce moment, il est certain que les mines de chrome sont assez abondantes pour que le prix de l'oxyde de chrome doive s'abaisser rapidement quand il y aura un débouché nouveau pour cette matière. . . »

M. Audoin, l'ingénieur distingué et si apprécié de la Compagnie parisienne du gaz, n'est pas un fabricant; il a libéralement laissé tomber dans le domaine public les brevets qu'il avait pris uniquement pour établir la date précise de ses travaux scientifiques dans cette voie toute spéciale; les métallurgistes ont donc à leur disposition des matériaux nouveaux capables de résister soit à l'action des fondants, oxydes de fer, etc., soit aux températures excessives obtenues depuis quelque temps déjà par l'emploi des fours Ebelmen et Siemens.

M. de Lachomette, à côté de pièces remarquables pour foyers Perret, de grandes cornues pour la fabrication du gaz, du phosphore, du sulfure de carbone, etc., avait exposé des spécimens très réussis de briques siliceuses, alumineuses et magnésiennes.

La Société anonyme des produits réfractaires et des terres plastiques de Seilles-les-Andenne (Belgique) avait des briques siliceuses agglomérées par 2 1/2 p. 100 de chaux; ces briques ont une grande solidité; elles contiennent 88 p. 100 de silice et une petite quantité d'alumine qui augmente beaucoup la cohésion.

La cryolithe permet d'obtenir des briques à 98 p. 100 de silice, mais ces briques sont moins solides et s'effrittent plus facilement que les précédentes; elles ne donnent de bons résultats que dans les fours dans lesquels il n'y a pas de rentrées d'air froid.

M. Escoyez (Louis) [Belgique], à côté de briques en silice pure agglomérée sans addition de chaux, par simple pulvérisation et par pression, montrait de grandes pièces en silice très réussies pour fours Siemens et Martin.

Dans la section anglaise, les maisons Edward Brooke and son, Grayson Lowood and C°, N. B. Allen and C°, The Genboig union fire Clay C°, Vulcan fire brick C°, The Eglinton Chemical avaient présenté de très belles briques siliceuses, des pièces de fours Martin ainsi que des briques en fer chromé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FOYERS À DALLES PERFORÉES.

Les fours à dalles réfractaires superposées, inventés par M. Michel Perret, ont rendu des services immenses à l'industrie des produits chimiques, ils sont aujourd'hui appliqués partout; faire leur éloge serait chose superflue. En présence des avantages nombreux que présentent ces appareils pour le grillage des pyrites, il était à prévoir que les moyens si simples employés pour brûler ces poussières deviendraient applicables à tous les combustibles pulvérulents. Bien que la voie fût toute tracée, une période de douze années s'écoula avant que l'idée de cette extension se révélât. L'honneur et le mérite de cette révolution nouvelle dans le brûlage des combustibles étaient encore réservés à M. Michel Perret.

La production du calorique et de la force, exigés de plus en plus impérieusement par l'industrie moderne, consomme des quantités énormes de combustible minéral; la construction des foyers industriels ne se prête qu'à la combustion des houilles à l'état fragmentaire; il faut, en effet, que le combustible supporté par les grilles soit dans un état tel que le courant d'air déterminé par l'appel de la cheminée puisse le traverser facilement et que par suite il s'établisse un contact intime et continu entre l'oxygène de l'air, élément gazeux, et le charbon, corps solide et compact. Si le combustible est pulvérulent, ce courant ne peut s'établir d'une façon convenable; des chemins s'établissent dans la masse, livrant passage à une quantité d'air beaucoup trop grande pour réaliser avec profit la combustion de la houille, tandis que les autres parties de la masse, ne recevant qu'une portion insuffisante d'oxygène, brûlent mal, lentement ou même tombent dans le cendrier sans avoir produit d'effet utile.

La houille à l'état de fragments, pas trop menus pour pouvoir demeurer sur les barreaux des grilles, peut donc seule être utilisée avec profit par l'industrie. On l'obtient à cet état, soit par le triage, éliminant les parties pulvérulentes, soit en n'employant que les fines grasses qui s'agglomèrent sous l'action du feu, soit par l'agglomération artificielle des fines maigres.

La fabrication des charbons agglomérés a été un progrès, aussi s'est-elle rapidement développée et rend-elle journellement de réels services; mais la production de ces agglomérés exige une main-d'œuvre et des frais importants qui viennent augmenter dans une très forte proportion le prix de revient du combustible; aussi était-il désirable de voir réaliser un appareil qui pût brûler sans main-d'œuvre supplémentaire et sans transformation coûteuse la poussière de houille provenant de l'exploitation des mines.

La solution de ce problème est extrêmement intéressante, car elle s'applique non seulement aux houilles menues qui représentent environ la moitié de la quantité totale extraite dans le monde entier, mais encore elle permet l'emploi des combustibles pauvres, tels que la tourbe, le lignite, l'anthracite, délaissés ou mal utilisés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est en 1874 que M. Michel Perret a fait ses premiers essais dans cette voie nouvelle; le brevet pris à cette époque avait pour objet l'emploi du four à étage des fabriques d'acide sulfurique pour brûler les charbons maigres, les anthracites, les poussières de coke et même les résidus des foyers, car ces cendres renferment toujours une forte quantité de combustible menu ou pulvérulent soustrait à la combustion par sa chute au travers les espaces relativement grands laissés entre les barreaux des grilles.

Cette application était trop nouvelle pour avoir pu être appréciée convenablement à l'Exposition de 1878; on pouvait prévoir l'étendue des services qu'elle était appelée à rendre, mais la sanction de l'expérience faisait défaut et il était prudent de réserver le jugement, car en matière d'application industrielle on sait combien il est difficile de passer des conceptions théoriques à la réalisation pratique, et combien est grande la liste des inventions ingénieuses qui sont demeurées dans l'oubli faute d'avoir pu être appliquées d'une manière suffisamment simple et économique.

L'application pure et simple du four à pyrite à la combustion des houilles pulvérulentes ne résolvait pas le problème d'une façon complète. Pour que la vulgarisation du nouveau foyer et, par suite, son développement devinssent complets, il fallait rendre la manœuvre accessible à tous en réduisant le travail assez fatigant qui consiste à faire passer la charge de combustible d'un étage à un autre.

Cette condition indispensable est aujourd'hui obtenue de la façon la plus simple et la plus élégante; mais combien a-t-elle dû nécessiter de recherches et d'essais à son ingénieux inventeur!

Il a tout d'abord imaginé de donner aux dalles une forme prismatique avec des intervalles qui permettent à la matière en ignition de descendre automatiquement et de constituer ainsi sous chaque dalle une série de talus d'éboulements comportant entre eux les vides nécessaires au passage de l'air.

Grâce à cette modification, il est très aisé de faciliter la chute des combustibles à l'aide d'un crochet léger, sans être exposé à la chaleur rayonnante dégagée par les grandes ouvertures des foyers à dalles ordinaires.

Cette modification, tout en réalisant un progrès considérable, présentait encore des inconvénients; des améliorations successives ont amené M. Michel Perret à substituer aux dalles pleines jusqu'alors employées des dalles perforées de façon à constituer des orifices par lesquels la matière en voie de combustion s'écoule, comme sous l'action d'un râble, et vient se déposer sous forme de cônes espacés sur l'étage inférieur. La matière combustible, tombant ainsi, presque automatiquement, sans aucun tassement, reste poreuse, elle peut être facilement traversée par l'air qui circule autour des cônes, en sorte que la combustion devient extrêmement active. L'air, en effet, en circulant autour de ces cônes, exerce sur le combustible une action analogue à celle de l'air passant au travers d'une masse composée de fragments, comme dans les foyers ordinaires à grille; il augmente ainsi l'activité de la combustion qui est au contraire très restreinte dans les foyers à dalles pleines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut se rendre compte que sur ces dalles le combustible ne présente à l'air que la surface de la couche étalée; or cette surface n'est en réalité qu'une fraction de celle que les fragments isolés offrent au contact de l'air, si l'on pouvait les brûler sur une grille.

En fait, la dalle pleine ne peut brûler environ que le dixième de la quantité que peuvent consommer les grilles ordinaires, à égalité de surface.

L'emploi de la dalle perforée produit une telle activité dans la combustion que l'on est obligé de soustraire au foyer la plus grande partie du calorique sous peine de voir s'élever la température jusqu'au degré de fusion des matériaux réfractaires. C'est en diminuant l'épaisseur des parois du foyer qu'on a pu parer à cet inconvénient, tout en réduisant les dépenses de construction et en utilisant le rayonnement de ces parois métalliques pour chauffer de grandes masses d'air.

Ce système a eu en outre pour effet de permettre non seulement de réduire à son minimum la main-d'œuvre nécessaire au chargement du foyer, qui peut n'avoir lieu que toutes les vingt-quatre heures, et au passage de la matière d'un étage à l'autre, mais encore il a eu pour effet de diminuer le nombre des étages qui a pu être limité à trois.

La régularité du fonctionnement de ces foyers à étages multiples, dont le chargement n'a lieu qu'à de longs intervalles, l'économie qui résulte de l'emploi de combustibles pulvérulents et à bas prix en ont rapidement propagé l'emploi pour le chauffage des habitations, ateliers et édifices publics, soit par l'air, soit par l'eau, comme aussi pour la dessiccation de grandes masses de matière par l'action directe des gaz de la combustion. Ces gaz, d'une température constante et presque exempts d'oxyde de carbone, facilitent un grand nombre d'opérations de plus en plus réclamées par les besoins de l'industrie et qui seraient impraticables avec des foyers à température variable.

Une application importante de ce système a été faite récemment pour le séchage des engrais chimiques.

La condition à remplir pour cet objet est de produire une température ne s'élevant pas au-dessus de celle qui fait rétrograder les superphosphates; on a accouplé deux foyers et on les a enveloppés complètement par une cloison laissant un espace libre pour la circulation d'une grande masse d'air destinée à entraîner le calorique rayonnant. Cet air ainsi chauffé est mêlé aux produits de la combustion, puis introduit dans les vastes séchoirs où l'on dessèche par jour de 25,000 à 30,000 kilogrammes de produits pâteux.

Le réglage s'opère par l'admission convenable de l'air; le combustible utilisé se compose de deux parties de poussier de coke et d'une partie de poussier de houille très fin.

Les foyers Michel Perret ont été étudiés également d'une façon toute spéciale pour le chauffage des habitations et des vastes locaux; une remarquable installation de ce genre a été réalisée pour le chauffage de la cathédrale de Saint-Quentin.

Ce vaste édifice a une longueur totale de 122 mètres, il mesure 39 mètres dans sa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus grande largeur et sa hauteur, sous la clef de voûte de la nef, est de 36 m. 20; sa capacité totale est de 97,000 mètres cubes; il possède des surfaces vitrées de plus de 4,000 mètres carrés.

Bien des essais de chauffage avaient été tentés, tous avaient échoué, le monument était réputé inchauffable.

M. Michel Perret a résolu le problème d'une façon aussi complète que simple. Huit de ses foyers, groupés et conjugués, ont été installés dans un grand cellier situé extérieurement à l'église sous la sacristie. La chambre d'air entourant ces foyers est mise en communication avec l'intérieur de l'église par deux conduits seulement : l'un prend l'air froid au niveau du sol, l'autre, de grande section (6 mètres carrés), conduit l'air chaud à 8 mètres du sol. Cet air s'élève rapidement vers les couches supérieures qui, de proche en proche, se transmettent le calorique sur tout l'espace et horizontalement. De sorte que pour les mêmes hauteurs la température est à peu près égale sur tous les points de l'édifice. Ainsi, il a été constaté que la masse d'air ambiant près de la cheminée d'arrivée de l'air chaud, à 1 mètre ou 1 m. 50 au-dessus du sol, n'a pas une différence de 1 degré 1/2, comparativement à celle de la partie extrême de l'église.

On a trouvé qu'à la partie supérieure, sous la voûte, la température est de 25 degrés centigrades, en moyenne, sur toute l'étendue de la couche horizontale, et, à demi-hauteur, elle descend à 20 degrés environ. Enfin, vers le bas, à la hauteur des assistants, la température est de 12 degrés lorsque celle du dehors est à 0 degré.

Ce résultat n'est obtenu qu'après un chauffage continu de quelques jours à partir de l'allumage; lorsque le régime se trouve établi, la température se maintient en continuant la même allure des foyers.

L'installation de ce chauffage n'a nécessité aucune tranchée dans le sol de l'église; M. Perret, estimant que la plus grande déperdition de chaleur dans les systèmes ordinaires résulte de l'absorption du calorique par les parois des canaux souterrains, a eu le soin d'établir son unique canal d'émission d'air chaud en élévation du sol et à l'extérieur, en sorte que la seule perte de calorique est due au rayonnement de la masse de l'édifice et aux fuites par les nombreuses fissures des vitraux; mais cette perte est nécessaire, car elle permet de remplacer une partie de l'air vicié par de l'air pur et de produire une ventilation convenable.

M. Michel Perret s'était engagé par contrat à chauffer la cathédrale à 10 degrés centigrades quand le thermomètre baisserait à 5 degrés au-dessous de zéro et 8 degrés lorsque la température extérieure descendrait au-dessous de cette limite. D'après les observations faites et consignées jour par jour, il ressort que, pendant l'hiver de 1889-1890, le thermomètre est descendu à l'extérieur jusqu'à 7 degrés au-dessous de zéro, pendant une durée soutenue de quatorze jours de gelée, et que, pendant toute cette période, la température de l'église n'a jamais été plus basse que 10 degrés. L'effet produit dépasse donc les engagements du contrat; c'est là un résultat remarquable.

Le combustible employé à Saint-Quentin est le poussier de coke, que l'on peu se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

procurer sur place à 4 francs la tonne; les comptes, soigneusement tenus, ont permis d'évaluer la dépense à 5 fr. 82 par jour, soit à 0 fr. 06 par 1,000 mètres cubes d'air chauffé. Cette dépense est si minime, que M. Mathieu, curé-archiprêtre de Saint-Quentin, se propose de laisser une partie des foyers allumés pendant la saison d'été, en vue de combattre la grande humidité de l'église.

Les avantages réalisés par les nouveaux foyers Perret ont été vite appréciés: la meilleure preuve que l'on puisse en donner, c'est de rappeler qu'à l'heure actuelle plus de 3,000 de ces appareils ont été construits.

Les foyers Michel Perret destinés, soit à la combustion des pyrites, soit au chauffage des locaux industriels et privés, nécessitent l'emploi de pièces réfractaires devant réunir des qualités multiples et présentant de sérieuses difficultés d'exécution.

La fabrication de ces pièces a vivement suscité les recherches des fabricants de matériaux réfractaires qui tous, français et étrangers, avaient fait figurer au Champ de Mars des spécimens très bien réussis, soit comme dimension, soit comme pureté de forme. L'examen de ces pièces a servi, pour ainsi dire, de critérium pour établir un classement entre les divers exposants.

L'application des foyers à étage à la combustion des combustibles pulvérulents est appelée à produire une révolution complète dans le mode d'emploi de ces diverses substances; le temps n'est peut-être pas éloigné où l'on pulvérisera soigneusement tous les combustibles, riches ou pauvres, de façon à utiliser d'une manière complète et rationnelle tout le carbone qu'ils renferment; on verra alors disparaître ces amas de cendres qui contiennent souvent plus de 25 p. 100 de charbon et qui ne sont jusqu'à présent que des sources d'embarras et de pertes sérieuses pour l'industriel.

La crise économique que le travail des mines traverse en ce moment doit forcément hâter cette révolution dans le mode de chauffage. L'industrie, en effet, ne peut supporter le renchérissement constant de la houille qui entre pour une si large part dans le prix de revient de ses produits, et elle doit être amenée à adopter tout appareil permettant de brûler rationnellement les combustibles et d'autre part d'utiliser les combustibles pauvres qu'elle délaisse aujourd'hui.

M. Émile Bourry (médaille d'argent) a exposé un four pour la cuisson des produits réfractaires; ce four est basé sur le principe imaginé par Hoffmann en 1865 : l'air servant à la combustion s'échauffe en passant sur les matériaux déjà cuits, tandis que les gaz de la combustion se refroidissent en traversant les produits à cuire. L'utilisation du calorique est complète dans un tel système, mais la combustion du charbon au milieu des produits céramiques présente de nombreux inconvénients; aussi, a-t-on cherché à remplacer le combustible solide par l'emploi du gaz produit dans les gazogènes. En 1879, la Société de Schwandorf a fait connaître un four réalisant cette condition, mais la complication de son système, les obstructions fréquentes, la difficulté du réglage offraient de sérieux inconvénients. M. Bourry a imaginé un nouveau type de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

four comprenant deux galeries parallèles, reliées à leurs deux extrémités et contenant les produits à cuire. Entre elles sont superposées deux autres galeries plus petites, dont l'inférieure sert à l'évacuation du gaz de la combustion à la cheminée et dont la supérieure amène le gaz du gazogène. Ce gaz est distribué, au moyen de tuyaux mobiles, à des brûleurs verticaux fixes placés dans le four, dont ils dépassent la voûte.

L'originalité du système repose sur ce mode de distribution très simple par lequel toute obstruction est impossible et qui permet un réglage très facile et très exact; aussi, la consommation de combustible n'est-elle pour les blocs réfractaires de grandes dimensions que de 100 kilogrammes de houille par tonne et 70 kilogrammes seulement pour les briques ordinaires.

La production des fours varie suivant les dimensions; elle est de 8 à 40 tonnes de produits réfractaires par vingt-quatre heures.

M. Bourry a également exposé le modèle d'un four chauffé au gaz pour la cuisson des charbons électriques.

Les charbons employés pour la production de la lumière électrique, ainsi que dans les piles, sont fabriqués, comme l'on sait, en agglomérant du graphite au moyen de substances riches en carbone; puis les objets ainsi fabriqués sont ensuite cuits à une haute température. Cette dernière phase de la fabrication a une très grande importance pour la qualité des charbons; elle occasionne en même temps une grande dépense de combustible et de main-d'œuvre.

Pour réduire ces frais, tout en assurant une cuisson parfaite et régulière, M. Bourry a construit divers fours, dérivés du four Hoffmann. Dans le dernier type, qui fonctionne dans l'usine de MM. Sauter Lemonnier et Cie, les charbons placés dans des pots sont disposés dans une galerie continue, où le feu circule, et les produits cuits servent de récupérateurs de chaleur. La rotation du feu dure normalement six jours, mais elle peut être augmentée en durée suivant les besoins.

La température produite régulièrement est celle de la fusion du fer, soit 1,500 degrés. L'oxyde de carbone produit dans un gazogène spécial est brûlé dans le four, dans des chandelles ou brûleurs, en terre réfractaire, analogues à celles dont il a été fait mention dans le four précédent. Ce four est bien étudié et les charbons qu'il produit sont d'excellente qualité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

II

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE LA TANNERIE,

DE LA MÉGISSERIE ET DE LA CORROIRIE.

Nombre des exposants : 17.

Français	15
Anglais	1
Belges	1

HORS CONCOURS.

M. Berendorf fils (J.-Édouard), membre du jury.

RÉCOMPENSES DÉCERNÉES.

Médailles d'or	4

MM. Allard frères	France.
Lütz (G.)	France.
Tourin (G.) fils	France.
Van Houke	Belgique.

Médailles	d'argent	6
	de bronze	6

Presque toutes les grandes maisons qui construisent des appareils pour l'industrie du cuir, de la tannerie, de la mégisserie, etc., avaient répondu à l'appel de la commission d'organisation et se trouvaient brillamment représentées au Champ de Mars.

Le matériel exposé se faisait surtout remarquer par les progrès apportés dans la construction mécanique, par des modifications de détail, par des perfectionnements ingénieux, résultant d'une connaissance plus approfondie de toutes les questions tech-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

niques, mais dans tout l'outillage exposé il n'a pas apparu des inventions réellement nouvelles, témoignant de grands progrès accomplis depuis l'Exposition de 1878.

On pouvait cependant voir à l'Exposition de 1889 plusieurs machines qui, bien que déjà connues en 1878, ne figuraient pas à la dernière exposition ; c'est ainsi que la machine à refendre les cuirs en tripes, de M. Berendorf ; les pelains ou agitateurs automatiques et la machine à cylindrer de M. Tourin ; les machines à doler et le foulon-hérisson Poisson présentés par M. Lutz ; les modèles de tonneau foulon et de lisseuse exposés par M. Bossière se trouvaient exposés pour la première fois.

Toutes ces machines parfaitement étudiées sont déjà anciennes ; elles forment le fond de l'outillage de toutes les tanneries ; il est par conséquent inutile d'en faire la description.

Il aurait été intéressant de voir les appareils servant aux nouveaux procédés de tannerie, notamment ceux employés pour le tannage électrique, mais, malgré la bonne volonté du constructeur, les inventeurs n'ont pas cru devoir les laisser exposer.

En passant rapidement en revue les diverses expositions de cette partie de la classe 51, on peut citer les appareils suivants qui ont plus particulièrement été remarqués par le jury :

Les *machines à faire les ballots de cuir,* présentées l'une par M. Berendorf, l'autre par M. Allard. Ces deux machines sont du même système.

Machine à travailler les cuirs en corroirie de M. G. Baruelle fils, à Decize (Nièvre). — La combinaison des bielles et manivelles fait décrire à l'outil une courbe dont la partie correspondant à la course utile est à peu près rectiligne ; l'outil pendant la course neutre se relève à 0 m. 40 au-dessus du cuir en œuvre. L'outil travaille en tirant d'avant en arrière, sa course est d'environ 0 m. 75, et il peut donner 80 coups d'étire par minute, correspondant à une surface travaillée de 8 à 10 mètres carrés.

La table de travail est formée par une série de lamelles en bois superposées qui forment ressort tout en conservant la rigidité désirable en rapport avec le travail à effectuer ; son mode d'attache permet les flexions et cependant empêche l'entraînement du cuir sous l'action de l'outil. Un système de leviers et de crémaillères permet, soit de donner à la table tous les niveaux sous l'outil en marche, soit de provoquer l'arrêt instantané de son action, ce qui rend presque impossible le déchirement du cuir en travail.

Différents organes : pince-peau, revolver pour le chargement rapide de l'outil, etc., complètent heureusement cette machine.

La machine de M. Baruelle possède un porte-outil d'une disposition nouvelle qui, pour un quart de révolution, présente successivement quatre outils de nature différente et peut ainsi, à la volonté de l'ouvrier, employer des étires de différentes façons. Cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

modification permet de passer avec facilité du travail des cuirs épais au travail des cuirs minces sans crainte de déchirement ou d'effleurure.

Machine à rebrousser et machine à cylindrer de M. G. Tourin fils. — La première de ces machines figurait déjà à l'Exposition de 1878; diverses modifications ont été apportées depuis cette époque dans le but d'en rendre le fonctionnement plus pratique, mais l'organe fondamental de la machine, la table, en forme de clavier, n'a subi aucun changement.

Dans les machines à rebrousser et à crépir l'outil doit rester inébranlable dans sa marche, le mouvement de flexion doit se produire par la table; ces principes sont habilement réalisés par la rebrousseuse de M. Tourin.

L'ébourreuse du même constructeur est judicieusement combinée, mais elle ne peut façonner la peau, c'est-à-dire en faire sortir la chaux avant l'opération du tannage; sous ce rapport elle est inférieure à la machine à ébourrer et à façonner exposée par M. Berendorf.

Les pelains et agitateurs automatiques de M. Tourin sont très intéressants; ils permettent, par un simple embrayage, d'agiter alternativement dans les deux sens tous les cuirs suspendus dans les coudreuses et de faire monter et descendre les peaux dans les pelains. La masse du liquide étant remuée sans cesse, les peaux se présentent dans toutes leurs parties à l'action du liquide qui est lui-même maintenu bien homogène par l'agitation, en sorte qu'aucun dépôt ne peut se produire au fond des cuves, même avec des liquides très chargés en parties solides.

Les *machines à triturer les bois de teinture* sont répandues dans le monde entier; depuis 1878 elles présentent des améliorations importantes sous le rapport de la construction.

Les machines à triturer les bois de tannerie, à grand débit pour une faible force, sont appelées à rendre de grands services partout où l'écorce devient rare et surtout dans toutes les tanneries où l'extrait est fabriqué sur place.

Les moulins à moudre les bois pour la tannerie, bien que ne présentant pas des dispositions absolument nouvelles, ont été cependant modifiés en vue de rendre leurs applications possibles dans les petits établissements.

Parmi les mieux construits on peut en première ligne citer ceux présentés par M. Berendorf, puis ceux de MM. Allard frères, G. Lütz, Huxam et Brown.

M. Albert Huguet (médaille d'argent) a exposé une presse à tanner du type Bréval perfectionné. Dans les anciennes presses Bréval la pression était obtenue par un système de leviers et de bielles qui portaient des contrepoids; dans le modèle exposé, ce système est remplacé par deux leviers réunis par un fort ressort en acier pouvant exercer une pression de 10,000 kilogrammes sur chacun des tourillons du cylindre presseur. Grâce à cette modification la pression se trouve proportionnée à l'épaisseur de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

couche de tannée qui passe entre les cylindres et le montage de la presse est plus simple puisqu'il n'y a plus besoin de construire de fosses pour loger les contrepoids.

De plus, le troisième cylindre de la presse Bréval a été supprimé et remplacé par une pièce qui pousse la tannée humide entre les deux cylindres presseurs et assure une alimentation proportionnelle au débit de la presse. Cette pièce est mue au moyen d'un arbre à vilebrequin et de deux bielles; elle porte de chaque côté un couteau aciéré qui tranche très nettement la couche de tannée sèche en formant ainsi un matelas très homogène, ce qui ne se produisait pas avec les anciennes presses qui laissaient toujours passer une certaine quantité de tannée mouillée sur chaque côté du ruban de tannée pressée.

Enfin, dans la nouvelle combinaison, la règle percée de trous qui était placée entre les trois cylindres et dont la fonction était d'éliminer le jus est remplacée par une grille dont les barreaux sont constamment nettoyés par une sorte de peigne solidaire de la pièce qui pousse la tannée, en sorte que toute obstruction se trouve évitée.

Le modèle exposé pouvait débiter 500 kilogrammes de tannée sèche à l'heure, quantité suffisante pour alimenter un générateur de 40 mètres carrés de surface de chauffe.

M. Lütz (médaille d'or) avait une exposition très complète des diverses machines usitées dans le travail des cuirs et des peaux : machines à mettre au vent, à étirer, à refendre les cuirs en croûte, à doler, à couper les cuirs de courroies, à cambrer les peaux, etc., ainsi qu'une très belle collection d'outils à main qui sont une des spécialités appréciées de cette maison.

Le jury a plus spécialement remarqué :

La machine à fendre les cuirs en croûte qui sert à égaliser les cuirs;

La machine à cambrer les tiges de bottes et de bottines qui permet de cambrer 120 paires de tiges par jour avec un seul ouvrier;

Les machines à couper, égaliser et jonctionner les cuirs de courroies. A l'aide de ces machines on peut obtenir des cuirs d'une largeur très égale, d'une épaisseur uniforme et dont la jonction s'opère avec une régularité mathématique, opérations qu'il était autrefois difficile de bien réaliser à la main;

Enfin la machine à tendre et à allonger les courroies possédant un dispositif particulier à l'aide duquel on peut enrouler les courroies au fur et à mesure de leur allongement partiel, en sorte qu'elles quittent la machine façonnées en rouleaux tout prêts pour l'expédition.

M. Bossière (médaille d'argent) avait une collection très complète et très bien exécutée d'outils manuels et de machines en bois.

Les machines pour le travail de rivière de M. Molinier (médaille d'argent) ont reçu

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des perfectionnements depuis 1878 tant sous le rapport du pince-peau, du tirage mécanique permettant de repiquer les peaux aux endroits difficiles : culées, croisements des épaules, etc., que sous celui de l'affûtage des couteaux qui, dans la machine exposée, se fait sans démonter la lame et exige à peine un quart d'heure.

M. Drouin (mention honorable) a imaginé et construit une machine à couper les cuirs épais dans laquelle le réglage du couteau se fait automatiquement suivant l'épaisseur des cuirs et la largeur des chanfreins à obtenir. On évite ainsi les coupes défectueuses dues à la torsion du cuir sous l'outil.

Parmi les machines exposées par M. Berendorf, il convient de citer :

La machine à enrouler les cuirs, dans laquelle le rouleau central sert d'enrouleur et forme l'âme du ballot; les deux autres rouleaux agissent par compression et servent à serrer les cuirs contre le rouleau central. Des rainures, ménagées dans les rouleaux presseurs, permettent de ficeler le ballot avant de le sortir de la machine.

Lorsque le ballot est terminé on soulève les rouleaux presseurs, au moyen de vis de rappel, puis on sort le ballot du bâti avec le rouleau central; celui-ci porte deux crochets qui ont servi à entraîner les cuirs, en le tournant en sens inverse du mouvement d'enroulement; ces crochets se dégagent et permettent d'enlever sans aucune difficulté le couteau central.

Cette machine permet de faire des ballots très propres et de peu de volume; les cuirs emballés de cette façon présentent cette particularité que leur couleur se régularise.

Malheureusement les habitudes commerciales ne permettent ce mode d'emballage que pour les pays d'Orient, de telle sorte que, réduite à ce seul débouché, la machine devient à peu près invendable eu égard à son prix de revient élevé.

(La machine de la maison Allard repose sur le même principe, elle ne diffère de la machine de Berendorf que par le remplacement des vis de rappel des rouleaux presseurs par des engrenages. Le constructeur a, de plus, remplacé le métal par du bois.)

La machine à ébourrer comprend un tablier élastique en acier sur lequel on étend le cuir à travailler; le cuir, saisi par un rouleau entraîneur, glisse en remontant sur le tablier pendant qu'un autre rouleau, allant en sens inverse et armé de pierres disposées tout autour de sa circonférence en doubles hélices, frotte sur cette peau et enlève le poil, s'il s'agit de l'ébourrage, ou la chaux s'il s'agit du façonnage.

Un tuyau percé de trous, placé au-dessus de la machine, laisse tomber une pluie d'eau, qui entraîne mécaniquement les impuretés, bourre ou chaux, enlevées par les pierres et qui pourraient rester adhérentes aux peaux.

Le mouvement de la peau, celui du rouleau, ainsi que sa pression, peuvent être arrêtés ou diminués par des embrayages placés *ad hoc*.

Le marteau Berendorf dont nous revoyons un échantillon, et qui a rendu tant de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

services à la tannerie depuis 1842, n'a subi que quelques modifications peu importantes de forme et de détail. Cet outil ayant, on peut le dire, été porté du premier coup à la perfection, ne gagnerait du reste rien à être modifié; le constructeur, petit-fils de l'inventeur, n'a eu qu'à continuer et à suivre les données de ses prédécesseurs.

MM. Ch. Brigonnet et Naville (médaille d'argent). — Appareils et procédés pour l'extraction à basse température des corps solubles dans les dissolvants volatils.

Le système exposé a pour objet le dégraissage des peaux.

Les peaux de mouton tannées ou mégies sont pour la plupart souillées de grandes taches graisseuses qui en rendent la vente impossible ou qui s'opposent aux opérations ultérieures de la teinture et du vernissage; il est donc nécessaire de les dégraisser. Le procédé le plus généralement employé consiste à mettre les peaux en contact avec de la benzine lourde dans une tonne montée sur un axe et qu'on fait tourner sur elle-même pendant vingt à trente minutes. On renouvelle la benzine jusqu'à ce que toute trace de graisse ait disparu, on essore les peaux dans un appareil à force centrifuge, puis on évapore le reste de la benzine retenue dans les peaux en les étendant dans un séchoir à air libre.

Cette méthode est défectueuse : elle exige une manipulation coûteuse, occasionne de grandes pertes de dissolvant (en moyenne 72 kilogrammes de benzine par 100 kilogrammes de peaux traitées), présente de grands dangers d'incendie et enfin est très insalubre pour les ouvriers.

MM. Brigonnet et Naville ont cherché à éviter ces inconvénients en faisant toutes les opérations en vases clos, et en prenant un dissolvant plus volatil dont ils abaissent encore le point d'ébullition par l'emploi du vide.

Le dissolvant auquel ils ont recours est le toluène extrait des goudrons de houille dont le point d'ébullition, de 110 degrés à l'air libre, s'abaisse à 35 degrés par un vide de 0 m. 700. Les peaux peuvent supporter cette température, mais chauffées à 45 ou 50 degrés elles s'altèrent, deviennent raides et cassantes et perdent toute valeur marchande.

L'appareil comprend une tonne en tôle à double enveloppe pouvant tourner sur son axe; cette tonne est mise en relation d'une part avec un réservoir à toluène placé à l'étage supérieur, et d'autre part avec trois réservoirs inférieurs destinés à recevoir les toluènes salis provenant du traitement. Chacun de ces réservoirs peut envoyer le liquide qu'il contient, soit dans la tonne tournante, soit dans un alambic destiné à séparer par distillation la graisse du dissolvant.

Enfin, la tonne, par l'intermédiaire de son axe qui est creux, peut communiquer par une série de réfrigérants avec une pompe à air qui permet d'y opérer un vide de 0 m. 700.

On introduit dans la tonne 150 peaux de moutons, on ferme le trou d'homme et on y fait arriver une quantité de toluène suffisante pour baigner les peaux; puis on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

met la tonne en mouvement. Au bout de vingt minutes on soutire le toluène sale, on le remplace par du toluène neuf et on fait de nouveau tourner pendant vingt minutes; enfin on termine par un lavage au toluène propre. Chacun des toluènes provenant de ces lavages est emmagasiné dans un réservoir spécial. Le premier est seul distillé, les deux autres sont utilisés dans les opérations ultérieures.

Lorsque le dégraissage étant jugé suffisant, le dernier toluène a été soutiré, les peaux très spongieuses retiennent environ une centaine de kilogrammes de dissolvant; pour le retirer on met la pompe à vide en mouvement en même temps que l'on envoie un courant de vapeur dans la double enveloppe de la tonne. Si l'on a soin que la température de cette enveloppe n'excède pas 85 degrés centigrades et si le vide est maintenu à 0 m. 700, la totalité du toluène s'échappe par distillation sans que jamais la température des peaux dépasse 35 degrés.

L'air rejeté par la pompe contient un peu de toluène entraîné mécaniquement; on recueille ce dissolvant en obligeant l'air à traverser un serpentin énergiquement refroidi, puis à barboter dans une série de vases laveurs contenant de l'huile de pétrole lourde.

Dans ces conditions la perte de dissolvant se trouve réduite au minimum puisqu'il circule dans un système absolument clos; la main-d'œuvre est peu considérable, un seul homme en effet suffit à la conduite de l'opération; enfin les dangers d'incendie et d'intoxication des ouvriers se trouvent écartés.

L'appareil est bien agencé, tous les raccords des tuyaux sont à baïonnette; le contrôle de l'opération se fait à l'aide de lunettes convenablement disposées à divers endroits; enfin il occupe peu de place et fonctionne très régulièrement.

L'emploi de ce procédé a permis de réduire dans une très forte proportion les frais de dégraissage des peaux tout en assurant un travail très soigné.

Une intéressante application de cet appareil a été faite pour l'extraction de l'huile des grains de maïs avant leur transformation en amidon.

MM. Van Houke et C^ie^, de Gand (Belgique), ont imaginé un nouveau mode de teinture des peaux de lapins qui présente d'assez sérieux avantages, surtout au point de vue de la non-contamination des eaux.

Par les procédés ordinairement employés, l'apprêt et la teinture en noir des peaux de lapins se font par deux opérations distinctes : le tannage et la teinture proprement dite, lesquels comprennent différentes phases.

Avant de procéder au tannage on commence par écharner les peaux; pour cela on les met tremper pendant un certain temps dans l'eau; puis avec une lame à tranchant légèrement émoussé on racle le côté « chair » de la peau préalablement étendue sur un chevalet.

Les peaux écharnées sont ensuite placées dans un bain de tannage, monté avec un tannin approprié; on les laisse dans ce bain pendant cinq à huit jours suivant qu'elles sont légères ou fortes. On les rince à grande eau et on les essore à la turbine. Après

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avoir subi un graissage et un séchage elles sont dégraissées et nettoyées complètement et elles sont portées à l'atelier de teinture.

Pour les teindre en noir on donne tout d'abord un léger bain de carbonate de soude, on les lave à grande eau, on les sèche aussi complètement que possible à la turbine, puis on les introduit dans un bain d'extrait de campêche dans lequel elles séjournent pendant six à douze heures. On les relève, on ajoute au bain des mordants de cuivre et de fer, puis on les réintroduit dans le bain où elles séjournent de nouveau pendant deux heures. Après un lavage abondant suivi d'un turbinage on les expose à l'air pendant deux heures.

Suivant la qualité des peaux, ces traitements sont répétés cinq ou six fois. Finalement les peaux sont rincées à grande eau, essorées, séchées, graissées à l'huile de foie de morue, dégraissées au sable et coupées.

M. Van Houke a observé que l'opération du tannage était, dans le cas de la teinture en noir, tout à fait inutile et que le tanin renfermé dans l'extrait de campêche suffisait amplement à communiquer aux peaux les propriétés que l'opération du tannage a pour but de leur donner.

Dans le nouveau procédé les peaux écharnées sont directement passées au bain de carbonate de soude, rincées, essorées et portées directement dans le bain d'extrait de campêche dans lequel elles doivent séjourner un temps suffisant. La durée d'immersion varie suivant la nature des peaux; c'est de cette durée que dépend tout le succès de l'opération: si elle est trop courte le tannage est imparfait et les peaux sont perdues.

L'aspect que prend la peau dans le bain est insuffisant pour guider l'opérateur; la peau en effet, au bout d'un temps très court d'immersion, se trouve complètement pénétrée par le bain en sorte que si l'on fait une incision perpendiculaire au poil on observe que toutes les couches de la peau ont pris une teinte uniforme d'un rouge violet assez foncé et l'on serait tenté d'arrêter l'opération et de passer en cuivre et rouille. En réalité la réaction doit être prolongée beaucoup plus longtemps; après bien des tâtonnements et des essais infructueux, M. Van Houke a fini par observer un phénomène physique très net qui se produit au moment précis où le tannage est devenu complet, en sorte que la sortie des peaux du bain de campêche se trouve indiquée avec certitude. Ce caractère constitue un tour de main que l'inventeur s'est réservé, et qu'il nous a prié de ne pas divulguer, mais dans la visite que nous avons faite à ses ateliers nous avons pu apprécier par nous-même l'exactitude et la fidélité de ce caractère. Nous avons rapporté de cette visite des échantillons, dont l'examen ultérieur a confirmé les assertions de M. Van Houke.

Lorsque les peaux ont absorbé assez de tanin dans le bain de campêche elles sont relevées, puis traitées par les mordants ordinaires de cuivre et de fer. On les termine ensuite de la manière qui a été indiquée ci-dessus.

Les bains de campêche sont remontés en extrait et fonctionnent sans jamais être

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rejetés; on les additionne simplement de la quantité d'eau nécessaire pour compenser la perte de celle enlevée par les peaux.

Le procédé imaginé par M. Van Houke est, on le voit, beaucoup plus simple que le procédé ordinaire; il procure une sérieuse économie de temps, de main-d'œuvre et de tanin, mais le point le plus important, celui qui a été principalement remarqué par le jury, réside dans ce fait que la méthode nouvelle, non seulement supprime une grande partie des lavages, mais évite le versement dans les rivières des vieux bains de tannage et des bains de teinture épuisés.

C'est là un progrès important car la pollution des cours d'eau, par suite de ces lavages et de ces déversements, est un fait très préjudiciable pour les riverains; elle occasionne des dommages sérieux aux usines situées en aval et elle est une source de dangers pour la population. C'est du reste principalement pour diminuer cette pollution que M. Van Houke a entrepris ses recherches; le problème avait un intérêt extrême pour lui, qui n'a à sa disposition qu'une rivière à petit débit, déjà contaminée par plusieurs usines, tant en France qu'en Belgique. La solution présentée est simple et rationnelle, aussi le jury a-t-il décerné à M. Van Houke une médaille d'or.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

III

PROCÉDÉS ET APPAREILS

DE LA GRANDE INDUSTRIE CHIMIQUE.

Nombre des exposants : 40.

Français	30
Belges	3
Anglais	5
Luxembourgeois	1
Russe	1

HORS CONCOURS.

M. Égrot, membre du jury de la classe 50.
Fabrique de Tentelewo (Russie), membre du jury.

GRANDS PRIX.

MM. de Chardonnet	France.
Johnson Matthey and C°	Angleterre
Desmoutis, Lemaire et C^ie	France.

MÉDAILLES D'OR.

MM. Pechiney et C^ie	France.
Greiss (Ed.)	France.
Mallet (P.)	France.
Solvay et C^ie	Belgique.

Médailles	d'argent	11
	de bronze	6
Mentions honorables		8

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Soie artificielle.

M. DE CHARDONNET (grand prix). — L'idée d'imiter le travail du ver à soie n'est pas nouvelle ; on l'a émise à différentes époques. On a songé au fil de verre, à l'amiante, à diverses fibres textiles, au liber du mûrier, à la ramie, etc. Présidant en 1884 la séance annuelle de l'Académie des sciences, M. Blanchard indiquait la fabrication artificielle de la soie comme un problème abordable par la science, sans indiquer toutefois la voie à suivre.

A la même époque, M. de Chardonnet déposait un pli cacheté (ouvert en novembre 1887), où il donnait les premiers résultats d'essais poursuivis depuis un an. Les moyens employés par l'inventeur étaient alors les mêmes qu'aujourd'hui, en principe du moins; il avait produit, dès cette époque, des filaments dont il avait pu constater les propriétés textiles.

Quand on songe aux qualités merveilleuses du brin de soie comme ténacité, comme brillant, comme élasticité, comme souplesse, qualités qui placent cette fibrine bien au-dessus de tous les corps textiles connus, on comprend les difficultés du problème. A ces difficultés techniques il faut encore ajouter la difficulté économique de produire à peu de frais des millions de kilomètres de fil (il faut 3,000 à 4,000 mètres de fil de soie par gramme); on conviendra que le problème est singulièrement difficile à résoudre.

De plus il est indispensable de tenir compte des habitudes de l'industrie et du commerce et donner aux fils artificiels la faculté de se comporter sur les machines destinées à leur façonnage ultérieur à peu près comme les fils naturels.

Dans l'emploi d'une multitude de fils les défauts s'intègrent, pour ainsi dire, et les imperfections de second ordre cessent d'être négligeables. C'est pourquoi les essais de laboratoire doivent être sans cesse contrôlés sur le métier.

Il était naturel d'essayer d'abord les substances colloïdes animales analogues à la soie par le groupement moléculaire, les composés protéiques, etc.; c'est ce qui a été fait.

Il n'est pas impossible de les filer, mais les produits sont généralement friables; tels sont les filaments de fibrine, d'albumine, etc. Les fibres textiles animales semblent, jusqu'ici, devoir être exclusivement produites par les animaux vivants.

Des essais infructueux ont rejeté l'auteur sur la matière première des fibres végétales, c'est-à-dire sur la cellulose. Mais ces fibres généralement courtes sont dépourvues de l'éclat soyeux, lequel ne peut être atteint qu'avec des fils continus, fins et transparents, produits exclusivement par la coagulation d'une matière liquide hyaline; c'est ainsi que la nature agit dans l'élaboration des fils de soie ou d'araignée.

Mais comment cette coagulation instantanée, constante tant que l'animal est dans ses conditions physiologiques, vient-elle à se produire ? Est-ce une simple dessiccation par évaporation ? L'examen du bombyx rend cette opinion peu probable, semble-t-il.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. de Chardonnet a supposé, en étudiant les rapports entre le fil soyeux et son enveloppe gommeuse, que le contact des deux substances liquides élaborées par le ver produit la coagulation du fil, et c'est dans cette voie qu'il a trouvé les résultats exposés dans la classe 51.

L'emploi de la cellulose impliquerait nécessairement la dissolution de ce produit; or tous les réactifs qui le dissolvent l'altèrent et le laissent sans cohésion. Il faut donc prendre une voie détournée et recourir aux dérivés nitriques solubles dans divers dissolvants et tout particulièrement au composé classé par M. Vieille comme cellulose octonitrique, lequel est complètement soluble dans un mélange d'alcool et d'éther.

C'est le mélange d'alcool et d'éther qui donne les meilleurs résultats, les autres dissolvants de la nitrocellulose, l'acide acétique cristallisable, l'éther acétique, le méthylène, ne peuvent être utilisés parce que le produit résultant de l'évaporation de la solution ne présente plus les qualités de ténacité et d'élasticité nécessaires pour produire un bon fil.

M. de Chardonnet a essayé un certain nombre de celluloses de diverses provenances qui toutes, filées à l'état de collodion, ont donné des résultats plus ou moins bons.

Les celluloses traitées préalablement par des réactifs oxydants, tels que le chlore ou la soude, ou même celles qui ont subi des blanchiments fréquents, comme le vieux linge, produisent des soies sans ténacité et sans éclat.

Les pâtes sulfureuses de bois tendre (sapin, tremble, peupliers) donnent les soies solides

C'est de la nitration du coton et des pâtes sulfureuses de bois, c'est-à-dire des substances utilisées réellement pour la nouvelle fabrication, dont nous parlerons plus spécialement, et, sans entrer dans des détails que ne comporte pas le cadre de cette étude, nous signalerons les points suivants, auxquels M. de Chardonnet attache une importance capitale :

— Dessiccation parfaite des celluloses, opérée dans des étuves, formées de préférence par des grilles en tubes de cuivre ou de fer traversées par un courant d'eau ou de vapeur à une température comprise entre 90 et 100 degrés;

— Concentration des acides. Cette concentration est de la plus haute importance, non seulement pour le degré de nitratation, mais encore pour la solubilité ultérieure du produit.

— Température à laquelle se fait la trempe du coton dans le mélange des acides;

— Lavage des produits essorés. Il doit être mené sans élévation de température et achevé dans une essoreuse d'une construction particulière où le produit est essoré, puis mouillé d'eau pure alternativement un grand nombre de fois. Souvent le produit — une fois terminé — est blanchi au moyen d'une très petite quantité de chlorure de chaux et d'acide nitrique.

Le mélange acide découlant du premier essorage sert, pour les trois quarts environ,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à une nouvelle opération; le quatrième quart est formé d'acides neufs employés à un degré de concentration suffisant pour ramener le titre voulu.

Les acides ayant déjà servi au trempage et qui ne sont pas utilisés directement peuvent être revivifiés au moyen d'une distillation méthodique. Le mélange, d'une densité de 1.7 environ, passe successivement dans un premier récipient en verre ou en fonte, maintenu vers 160 degrés, où l'acide nitrique distille à l'état concentré, puis, dans un second récipient pareil, maintenu vers 200 ou 210 degrés, où l'acide sulfurique achève de perdre le reste de son acide nitrique, sans soubresauts sensibles, et d'où il sort à l'état d'acide légèrement dilué, d'une densité de 1.70 à 1.80. Si l'on voulait le ramener à 1.83, il faudrait achever la concentration dans le platine.

Moyennant ces précautions, M. de Chardonnet obtient des produits dont la nitrification ne diffère, fibre par fibre, que de quelques centièmes, qui sont toujours également solubles et parfaitement lavés, conditions nécessaires pour obtenir un collodion qui *file* convenablement. Ces données sont d'ailleurs d'une importance réelle pour la bonne fabrication des poudres sans fumée. Elles permettent d'arriver à une grande économie de temps, de nitrate et d'argent.

Le pyroxyle convenablement lavé et séché est prêt à entrer en fabrication pour préparer la nouvelle fibre; on forme alors un collodion comprenant, pour 100 litres, environ:

Ether rectifié à 65 degrés	36 litres.
Alcool à 95 degrés	64
Pyroxyline	5 kilogr.

Ce collodion reposé est filtré par pression sur de la soie de bluterie (n° 200 ou 250), puis introduit dans la machine à filer.

Cette machine se compose essentiellement d'un récipient en cuivre ou en tôle étamée, où une pompe à air, munie d'une soupape de trop plein, entretient une pression constante variant entre 8 et 15 atmosphères suivant la viscosité du collodion, le diamètre des becs, la vitesse de production.

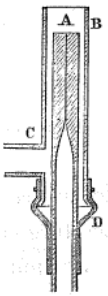


Fig. 1.

Ce réservoir est en communication avec une rampe sur laquelle sont implantés les becs produisant le fil. Une bobine tournant au-dessus du bec et à une distance suffisante de ce bec suffit pour entourer le fil produit.

Le bec mérite une attention particulière, sa disposition a fait l'objet de longues études.

Il se compose d'une portion capillaire A, en verre, soudée sur un autre tube en verre de même diamètre extérieur mais de large section intérieure, lequel est en communication avec le réservoir à collodion. Un second tube B enveloppe le premier et reçoit un excès d'eau par la tubulure C. Cette eau, retenue par une garniture en caoutchouc D, retombe autour de B.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le collodion chassé du récipient en cuivre traverse l'orifice A, est immédiatement solidifié à sa surface, au contact de l'eau, et tombe avec cette eau autour de B; là, il est facilement recueilli et porté sur la bobine tournant au-dessus.

Avant la mise en action, A est fermé par une gouttelette d'huile minérale qui empêche l'entrée de l'eau et se trouve chassée à l'arrivée du collodion.

Dans ses recherches théoriques, M. de Chardonnet a employé un petit appareil également exposé dans la classe 51 et dans lequel l'eau était remplacée dans le tube B par de l'alcool. Dans ces conditions, la coagulation se fait plus lentement en passant par l'état gélatineux et l'on peut employer un bec simplement effilé à la lampe, au lieu d'un tube capillaire, parce que l'action de l'alcool ne tend pas à produire un bouchon, comme l'action de l'eau. Celle-ci pénètre toujours plus ou moins profondément par la pointe et la solidification commence dès l'intérieur du tube de verre; c'est pourquoi il est nécessaire de donner à la partie cylindrique capillaire une longueur déterminée par l'expérience (10 à 20 millimètres).

Quand on file dans l'eau, la coagulation solidifie immédiatement la surface; le noyau en se réduisant ultérieurement donne au fil l'aspect d'une colonne cannelée, offrant une coupe contournée.

Pour les fils produits dans l'alcool, le retrait se fait régulièrement et la coupe du fil reste sensiblement ronde.

Dans l'une des machines exposées, une pince animée d'un mouvement horizontal venait plusieurs fois par minute frictionner extérieurement le tube B pour recueillir le bout de fil qui pouvait se trouver cassé et l'élever sur la bobine.

Ce mécanisme, quoique ingénieux, paraît devoir être abandonné comme entraînant trop de complications dans les machines; il n'est plus d'ailleurs absolument nécessaire; il avait été imaginé à l'origine pour réparer automatiquement des ruptures de fils alors assez fréquentes, mais qui, eu égard aux divers perfectionnements apportés depuis, ne se produisent plus que tous les 40,000 mètres en moyenne; dans ces conditions une ouvrière peut surveiller facilement, sans l'aide d'un mécanisme spécial, un très grand nombre de becs.

Dans la nouvelle fabrication, pas plus que dans le dévidage des cocons, on n'opère sur un seul fil, qui, par sa ténuité échapperait au traitement industriel des soies; aussi les becs sont-ils réunis par groupe de 4 à 8. Chaque fil passe d'abord isolément entre deux guides pour faciliter le séchage, puis, après un trajet isolé dans l'air de 0 m. 50 ou plus, passe dans l'angle d'un guide collecteur en forme de V, où il est réuni à ses voisins, déjà partiellement secs, et auxquels il adhère par capillarité. Un mouvement de va-et-vient imprimé, soit aux guides, soit aux bobines, produit sur celles-ci une croisure analogue à celle qui est usitée en soierie, mais destinée ici à faciliter le séchage du fil et son dévidage ultérieur. Elle doit rappeler, comme angle de croisement des fils superposés, le travail du ver à soie lui-même.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est nécessaire, au point de vue économique, de recueillir les vapeurs du dissolvant provenant du séchage des fils; on y parvient de la manière suivante :

Les becs et les bobines sont renfermés derrière des châssis vitrés à coulisse qui permettent de les maintenir fermés pendant la plus grande partie du temps. Ces châssis ne sont ouverts que pour la mise en marche ou pour réparer les ruptures courantes, qui, dans dans une fabrication bien réglée, deviendront de plus en plus rares.

Un ventilateur, du genre de ceux qui peuvent produire une dépression considérable, comme le ventilateur Root, par exemple, aspire au voisinage des becs l'air renfermé dans la machine et même l'air extérieur si la machine se trouve ouverte. Cet air traverse un premier barboteur contenant une couche d'une solution saturée de carbonate de potasse, qui retient la vapeur d'eau entraînée et dans laquelle les vapeurs éthérées et alcooliques sont insolubles; la plus grande partie de l'alcool et une partie de l'éther se condensent en une couche surnageant au-dessus de la solution saline.

De là l'air, encore très chargé de vapeurs éthérées, passe dans un autre barboteur contenant une couche d'acide sulfurique de quelques centimètres de hauteur. Cet acide retient le reste de l'alcool et transforme les vapeurs éthérées en acide sulfovinique, produit sensiblement fixe dans les conditions de l'expérience.

L'acide sulfurique peut absorber jusqu'à 4 ou 6 fois son volume d'éther, mais au delà d'un volume la dissolution commence à émettre des vapeurs sensibles, aussi est-il nécessaire de mettre à la suite un second barboteur pareil, quelquefois même un troisième, qui laisse l'air définitivement échapper parfaitement dépouillé de vapeurs éthéro-alcooliques.

Cet air, aspiré et refoulé par le ventilateur, est réchauffé vers 40 ou 50 degrés au contact d'un serpentin, puis ramené à la partie inférieure de l'enceinte renfermant les bobines, où le séchage est d'autant plus rapide que l'air est plus chaud et plus sec.

La vitesse de l'air dans les barboteurs peut être de 0 m. 50 à 1 mètre par seconde.

Le mélange surnageant dans le premier barboteur est décanté de temps en temps; il contient une petite quantité de carbonate de potasse, dont on le débarrasse, après essai préliminaire, au moyen d'une solution titrée alcoolique d'acide sulfurique (le titrage peut se faire au moyen du rouge Congo). Si l'on a soin de ne mettre aucun excès d'acide, le mélange recueilli peut entrer directement dans la composition d'un nouveau collodion.

Lorsque le premier barboteur sulfurique a absorbé quatre volumes environ d'éther (ce que l'on reconnaît à la densité voisine de 0. 900), on fait mouvoir le *distributeur* tournant, qui isole le premier barboteur et fait passer les vapeurs, venant du carbonate, directement dans le second, devenu ainsi le premier.

Un troisième barboteur entre en même temps en action et devient le second sulfurique, et ainsi de suite.

Le premier barboteur est vidé, chargé d'acide neuf et prêt à redevenir le deuxième barboteur sulfurique à la troisième mutation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'acide provenant du premier barboteur sulfurique est mélangé à la moitié ou aux deux tiers de son poids d'eau. Les trois quarts environ de l'éther se séparent et l'on peut décanter cette couche supérieure. Neutralisé, l'éther ainsi recueilli peut servir directement à reformer le collodion. Le reste de la liqueur, distillée vers 90 degrés dans des appareils en fonte ou en plomb, se sépare en éther très pur, qui passe à la distillation, et en acide sulfurique dilué qui reste. On peut ainsi, théoriquement, recueillir et utiliser de nouveau la totalité du dissolvant : dans la pratique, la perte à chaque opération se réduira à quelques centièmes.

Le produit de la filature, telle que nous l'avons décrite, se présente sous la forme d'une sorte de grège enroulée sur des bobines ou *roquets*, semblables à ceux qu'on emploie dans les moulins à soie et destinés à être portés directement soit au *doublage*, soit au *moulinage*.

Cette circonstance évite l'opération coûteuse désignée dans l'industrie sous le nom de *dévidage des grèges*.

La soie artificielle ne présentant, en outre, aucune portion duveteuse, pas de *bouchons*, n'exige pas de *purgeage*, ce qui constitue une nouvelle économie.

Enfin, la plupart du temps, lorsqu'il s'agira de trames, le doublage pourra se faire en filature, c'est-à-dire qu'on pourra donner immédiatement au fil multiple la grosseur voulue, et éviter ainsi de passer au *banc de doublage*, qui exige une surveillance coûteuse.

Lorsqu'il s'agira de *trames* ou de *poils*, on pourra donc donner directement le *tors*, et, si le moulin est à *guindres*, un seul passage suffira pour obtenir directement les échevettes. Si le moulin est à *roquelles*, il faudra donner un *flottage-grant* ou autre.

Lorsqu'il s'agira d'*organsins*, la soie artificielle ira directement au *filage* et les opérations suivront ensuite comme à l'ordinaire : doublage, tors, flottage.

Jusque là, le pyroxyle filé et ouvré a conservé sa nature chimique, et ne pourrait servir dans la pratique, à cause des dangers d'incendie et même d'explosion qu'il présente.

Pour enlever tout ou partie de l'acide nitrique combiné et ramener la fibre à l'état de cellulose ordinaire, c'est-à-dire de produit peu combustible, on peut avoir recours à plusieurs procédés inventés par l'auteur ou publiés antérieurement à ses travaux.

On peut dire qu'en général toutes les substances réductrices, ou celles qui ont de l'affinité pour l'acide nitrique — même l'eau — s'attaquent à l'éther cellulosique et diminuent sa teneur en azote, mais, toutes ces substances ne peuvent être indistinctement employées : il faut que la méthode suivie permette d'une part de pousser la réduction sinon jusqu'au bout, du moins jusqu'à un degré avancé, variable selon le but qu'on se propose; d'autre part, que le réactif ne fasse pas perdre au produit final ses qualités textiles : ténacité, élasticité, brillant.

Le premier procédé employé par M. de Chardonnet consiste à faire digérer ces fils pendant plusieurs heures dans l'acide nitrique dilué tiède. Le pyroxyle se dissocie

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sans perdre ses qualités, devient souple et apte à se teindre dans les mêmes bains que la soie naturelle.

Vers la fin de l'opération, les fils ramollis deviennent facilement perméables aux matières tinctoriales et susceptibles d'absorber différents sels; c'est ainsi qu'avaient été traités la plupart des écheveaux et des étoffes exposés en 1889.

Cette réaction ne peut être poussée à bout parce que, au-dessous d'une certaine teneur en azote — 6 p. 100 environ — l'acide nitrique dissoudrait le composé.

Ce degré de dénitration donne des fils qui, mélangés à d'autres textiles, notamment à la soie naturelle, produisent des tissus qui ne sont pas plus combustibles que d'autres journellement employés, mais les étoffes fabriquées presque exclusivement avec cette matière ne seraient pas acceptables dans les usages domestiques.

M. de Chardonnet a dû, pour remédier à ce défaut, recourir à l'emploi du phosphate d'ammoniaque, mais outre que ce moyen ne constitue qu'un palliatif et diminue l'éclat soyeux du produit, il présente, comme l'on sait, de graves inconvénients au point de vue de la conservation des tissus.

Depuis, l'auteur a repris ses études interrompues par l'Exposition et découvert plusieurs groupes de sels, dont l'action, par une digestion de quelques heures à chaud et même à froid, dissocie le pyroxyle et laisse la cellulose pure avec sa solidité, sa transparence et une élasticité comparable à celle des soies cuites.

La première catégorie de ces sels comprend les sulfures et polysulfures alcalins, alcalino-terreux et terreux ; la seconde, les sulfocarbonates alcalins, alcalino-terreux et terreux.

Le sulfocarbonate de potasse, tel qu'il est préparé en grand pour la viticulture, donne, notamment, de bons résultats.

Les soies traitées par ce réactif ne se distinguent pas, à première vue, des soies naturelles cuites, elles en ont l'éclat et la souplesse.

Le sulfhydrate d'ammoniaque donne aussi de bons résultats. C'est un réactif que l'industrie pourra produire également à bon marché, s'il est employé en grand[1].

L'action des réactifs est singulièrement activée en imprégnant préalablement les fibres avec une solution acide : les acides acétique, phosphorique et chlorhydrique conviennent particulièrement bien.

La perte de poids à la dénitratation varie naturellement avec la quantité d'acide nitrique enlevée. Elle est de 30 à 40 p. 100 pour la dénitratation totale, mais, comme la matière redevient hygrométrique à la façon des textiles ordinaires, cette perte se trouve très sentiblement atténuée. L'absorption de l'eau peut atteindre en effet jusqu'à 26 p. 100; dans les conditions ordinaires d'humidité de l'air, elle n'est que de 10 à

[1] M. Frémy en se servant d'échantillons et d'indications fournis par M. de Chardonnet a découvert simultanément avec lui l'action du sulfhydrate d'ammoniaque, mais nous devons ajouter que cette réaction n'était pas nouvelle; elle était connue et indiquée par divers traités de chimie allemands. Ce qui appartient à M. de Chardonnet, c'est l'application particlle et bien déterminée qu'il en a faite à sa soie artificielle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

12 p. 100; cette hygrométricité est normale, car on sait que dans les transactions ordinaires les bureaux de conditionnement des soies admettent 11 p. 100 d'humidité.

Nous ne parlerons pas ici de la *charge en teinture* qui pourrait être appliquée à la soie artificielle, l'inventeur, bien qu'ayant constaté que les procédés de charge usités pour la soie naturelle s'appliquent très bien à la soie artificielle, ne s'en est pas occupé pour la raison bien simple que la nouvelle fibre textile ne revient pas plus cher que le prix réclamé par les teinturiers pour la charge des soies naturelles.

La densité du produit dénitré varie dans des limites considérables suivant la marche, le mode et le degré de dénitratation.

Partant de 1.60 environ pour la cellulose octonitrique, elle diminue d'abord avec la quantité d'acide nitrique pour remonter vers 2.30 avec la cellulose pure, c'est-à-dire qu'elle devient un peu plus forte que la *cellulose-coton*.

L'élasticité et l'aptitude à la teinture sont plus grandes lorsque la cellulose contient encore une certaine quantité d'acide nitrique; aussi est-il certain que le dernier mot de cette industrie ne sera pas donné par la cellulose pure, mais par un composé nitré contenant encore une certaine quantité d'azote.

La nitratation partielle du coton dans le but de le rendre apte à la teinture n'est d'ailleurs pas un fait nouveau, car dans la teinture du coton pour soierie on a soin de combiner au coton une certaine quantité d'acide nitrique, ce qui permet d'opérer dans les bains mêmes préparés pour la soie; c'est ce que les teinturiers appellent *animaliser* le coton.

Quoiqu'il puisse advenir des perfectionnements futurs, la soie artificielle, telle que M. de Chardonnet sait la produire aujourd'hui, peut remplacer la soie naturelle dans un grand nombre d'usages. Elle se rapproche de la précieuse textile — prise à l'état de soie cuite — par ses aptitudes à la teinture, son élasticité, son éclat, sa souplesse, et la finesse des fibres qu'on peut régler à volonté.

M. de Chardonnet montrait à l'Exposition des coupes de fils mesurant environ un millième de millimètre de diamètre.

Sa nature chimique, sa combustibilité, sa résistance aux réactifs chimiques, sa densité, la rapprochent des fibres végétales. Sa ténacité, à poids égal, est d'environ un tiers moindre que celle des bonnes soies naturelles, mais elle est supérieure à la ténacité des soies *chargées en teinture*, dont l'emploi n'est que trop général. Ce manque de ténacité est surtout nuisible dans les organsins de *titre* faible, où la solidité joue le premier rôle; dans les trames, ce déficit de ténacité n'a guère d'inconvénients, pas plus que lorsqu'il s'agit de gros organsins employés dans certains tissus soie et coton très répandus (article meuble, article de Roubaix, etc.).

En résumé, la ténacité de la soie artificielle peut être évaluée — suivant la manière de compter en fabrique — de 1 gr. 3/4 à 2 grammes par *denier*, tandis que les belles soies naturelles portent de 2 à 3 grammes par denier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le prix de revient peut être prévu dès à présent entre 12 et 20 francs le kilogramme — tous frais compris — pour des trames moulinées et teintes.

L'industrie nouvelle ne paraît pas destinée à porter atteinte à la production des belles soies françaises, dont la quantité est déjà malheureusement trop réduite, et qui, grâce à leur merveilleuse solidité, tiendront probablement toujours la tête du marché.

Mais la nouvelle matière textile est appelée à remplacer graduellement les soies chargées, les *schappes* et les *fantaisies* dans un grand nombre de cas, comme pour la passementerie, la draperie, la cotonnade mélangée, dont l'usage se répand de plus en plus.

Enfin elle entrera souvent, du moins comme trame, dans la composition des soieries artistiques, à mesure que les fabricants apprendront à s'en servir.

On a lieu d'espérer que d'ici à quelques années elle réduira l'énorme tribut de 150 à 200 millions de francs que l'industrie française paye chaque année à l'Extrême Orient pour l'achat de ses matières premières.

MM. Johnson Matthey and C° (grand prix). — Cette maison, une des plus anciennes dans sa spécialité, tient toujours la tête de son industrie. L'alambic qu'elle exposait était composé de deux chaudières allongées mises en communication par un tube latéral.

Chaque chaudière est munie d'un condenseur de vapeurs. Les petites eaux émanant de la première chaudière sont éliminées, les liquides provenant de la condensation des vapeurs du second vase (titre 62 à 63 degrés Baumé) sont amenées dans le premier vase et rentrent immédiatement en travail.

La forme donnée à l'appareil est telle que le sulfate de fer déposé pendant l'évaporation ne peut s'accumuler à l'orifice du tube de sortie de l'acide concentré, et en gêner l'écoulement comme cela se produit si souvent dans les appareils ordinaires.

Le cloisonnement des chaudières que la maison Johnson Matthey and C° a pratiqué, il y a déjà fort longtemps, est actuellement abandonné par elle parce qu'elle estime que ce mode de concentration apporte une augmentation dans la difficulté de construction, tout en offrant une moindre résistance aux efforts de dilatation et de contraction qui se produisent si fréquemment pendant le cours des distillations.

Toutes les soudures de ces alambics étaient faites métal sur métal (soudure autogène); c'est du reste la maison Johnson Matthey qui, dès 1850, a préconisé et mis en œuvre ce genre de soudure, particulièrement difficile à réaliser; depuis cette époque elle n'a cessé de perfectionner ses procédés (plus de 160 appareils soudés de la sorte ont été construits); aussi les appareils exposés par elle étaient-ils d'une perfection absolue sous tous les rapports.

On pouvait voir dans la vitrine des mêmes exposants divers appareils de laboratoires : tubes, creusets, capsules, fils, etc., et l'on remarquait tout particulièrement des lingots d'osmium, d'iridium, de platine et iridium, de rhodium, de ruthenium, de palla-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dium pesant plusieurs kilogrammes chacun, et enfin quatre règles, destinées à la Commission internationale du mètre, formées par un alliage de 90 p. 100 de platine et 10 p. 100 d'iridium, ces deux métaux étant d'une pureté absolue. Tous ces objets témoignaient hautement de la grande habileté de MM. Johnson Matthey and C°.

Cette maison, qui est certainement la première dans sa spécialité tant par l'importance des capitaux qu'elle met en œuvre que par la perfection des appareils qu'elle livre à l'industrie, a obtenu à l'exposition précédente la plus haute récompense. Le jury de l'exposition actuelle ne peut que s'associer à l'opinion émise par ses devanciers et confirmer le jugement précédemment porté en décernant à nouveau à MM. Johnson Matthey and C° un grand prix, c'est-à-dire la récompense la plus importante dont il puisse disposer.

MM. F. Desmoutis, Lemaire et C^ie^ (grand prix). — Cette maison exposait :

1° Un grand appareil conjugué pour la concentration de l'acide sulfurique fort (97 à 98 p. 100 de monohydrate).

Cet appareil est constitué par deux vases de forme circulaire, réunis par un tube de communication. L'un de ces vases, d'un diamètre de 0 m. 84, porte trois cloisons concentriques formant quatre compartiments séparés.

L'acide faible à concentrer est amené des chaudières préparatoires en plomb dans le compartiment périphérique où il circule en décrivant une circonférence entière, puis il passe dans le second compartiment où il accomplit une nouvelle circulation en sens inverse de la première, gagne le troisième compartiment, puis pénètre dans la cuvette centrale d'où un tube l'amène au second vase de concentration.

La longueur de la circulation ainsi effectuée par l'acide est de 7 m. 20 environ, la surface de chauffe étant de 0 m. q. 5538.

Le second vase de concentration est également circulaire, son diamètre est de 0 m. 96; il est formé par une seule feuille de platine relevée au marteau sans soudures. Il ne porte pas de séparations. L'acide entrant dans l'appareil en sort par l'extrémité d'un même diamètre après avoir parcouru par conséquent une longueur de 0 m. 96.

L'ensemble de l'appareil offre donc une surface de chauffe de 1 m. q. 28 environ et une longueur de parcours du liquide de 8 m. 15.

On peut à l'aide de cet alambic concentrer à volonté de l'acide à 94 p. 100 de monohydrate avec un rendement de 11,000 kilogrammes par vingt-quatre heures ou de l'acide à 97-98 p. 100 de monohydrate avec une production des deux cinquièmes de celle de l'acide à 94 p. 100.

Le poids de l'appareil est de 55 kilogrammes correspondant à 5 kilogrammes de platine par tonne d'acide concentré à 94 p. 100 en vingt-quatre heures.

La dépense en combustible ne dépasse pas 12 à 13 kilogrammes de charbon par 100 kilogrammes d'acide produit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour donner à leur nouvel appareil les formes et les dimensions qui viennent d'être relatées, MM. Desmoutis, Lemaire et C^ie^ se sont inspirés des considérations suivantes :

L'acide sulfurique étant un corps très avide d'eau, il y a un avantage sérieux, au fur et à mesure qu'on lui enlève une partie de cette eau, à le soustraire à une nouvelle hydratation par le fait de l'affusion continue de l'acide plus faible. Les cloisons concentriques, en séparant les acides de degrés différents, réalisent ce désideratum, mais elles ont un autre office : l'acide sulfurique est un corps dense, visqueux, qui, par cela même, s'oppose au départ facile des vapeurs qui se produisent dans son sein; or en l'obligeant à circuler on facilite dans une très large mesure le départ de ces vapeurs.

Si l'on néglige cet avantage dans le second vase c'est que là on rencontre un inconvénient qui ne se produit pas dans le premier : quand l'acide atteint un degré de concentration un peu élevé il laisse déposer du sulfate de fer qu'il contient et qui s'y trouvait dessous à la faveur de l'eau. Ce dépôt de sulfate encrasse les appareils, forme des croûtes dures qui amèneraient fatalement la détérioration de l'appareil, si elles n'étaient pas périodiquement enlevées. Il y a donc un sérieux intérêt à ce que l'appareil dans lequel ce dépôt s'effectue soit d'une forme aussi peu compliquée que possible, afin que l'enlèvement des incrustations puisse s'opérer avec simplicité.

Le second appareil exposé, de même diamètre que le précédent, est également un appareil à cloisons concentriques, mais ces cloisons sont disposées en gradins descendants, de telle sorte que la roideur du fond est accrue en même temps que la surface de chauffe se trouve augmentée sensiblement; aussi, avec un même poids de platine, la production d'acide concentré est accrue dans la proportion d'un cinquième environ.

Le troisième appareil a une forme oblongue, il est également à cloisons. Ce vase non achevé a été présenté pour montrer les détails du travail et particulièrement les soudures autogènes.

Pendant longtemps, toutes les fois qu'il s'agissait de réunir par soudure deux pièces en platine, on avait toujours recours à la soudure à l'or; ce mode de travail est aujourd'hui — à de rares exceptions près — remplacé par la soudure du métal contre le métal sans l'interposition d'aucun autre corps, c'est-à-dire par la soudure autogène. Ce travail particulièrement difficile est réalisé dans les ateliers de MM. Desmoutis, Lemaire et C^ie^, avec une perfection telle qu'il est impossible de retrouver la trace de l'assemblage lorsque la pièce est achevée et planée. C'est pour permettre de constater l'endroit où la soudure avait été pratiquée que l'appareil exposé n'était que partiellement plané; le jury a rendu hommage à l'habileté des ouvriers en décernant à M. Albert Laforest, un des plus habiles praticiens de la maison, contremaître des ateliers attaché à l'établissement depuis 1868, une médaille d'or.

Enfin la vitrine contenait une bassine (système Faure et Kessler) et divers appareils de laboratoire dont l'exécution était irréprochable.

Les principes adoptés par la maison Desmoutis, Lemaire et C^ie^ ont permis d'abaisser le poids de platine correspondant à la tonne d'acide sulfurique concentré par vingt-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quatre heures, tout en restreignant l'usure, à un chiffre très faible (environ 0 gr. 166 par tonne); c'est là évidemment un résultat très avantageux.

La maison Desmoutis, Lemaire et Cie a fait depuis la dernière exposition de grands efforts pour se tenir à la tête de son industrie et affranchir la France du tribut étranger; c'est pour reconnaître et récompenser les résultats obtenus que le jury lui a décerné un grand prix.

MM. Pechiney et Cie. — Les établissements de la Compagnie récoltent environ 50,000 tonnes de sel marin dans le salin de Giraud, qui leur appartient.

Un tiers de cette quantité est consommé par l'usine de Salindres, les deux autres tiers sont vendus à la consommation.

Les eaux-mères du sel marin sont traitées par les procédés classiques de Balard; elles fournissent du sulfate de soude, du chlorure de potassium et comme résidu ultime du chlorure de magnésium.

Ce sel, qui se produit annuellement en quantité très considérable, était jusqu'alors rejeté en totalité à la mer; entre les mains de MM. Weldon et Pechiney, il est devenu la source d'une production importante d'acide chlorhydrique et de chlore.

Nous n'avons pas à décrire l'ensemble des procédés à l'aide desquels l'opération se trouve réalisée industriellement; ces documents sont résumés d'une façon très complète dans la conférence faite par le professeur James Dewar[1] devant la section de Londres de la « Society of chemical industry »; nous rappellerons seulement que l'opération comprend cinq phases, savoir :

1° Préparation du chlorure de magnésium;
2° Préparation de l'oxychlorure de magnésium;
3° Concassage, broyage et tamisage de l'oxychlorure;
4° Dessiccation de l'oxychlorure;
5° Décomposition de l'oxychlorure.

MM. Pechiney et Cie avaient exposé dans la classe 51 le modèle de four applicable à cette cinquième phase; le jury n'a donc eu à apprécier que cette seule partie de l'opération.

La décomposition de l'oxychlorure de magnésium sous l'influence de l'air et de la chaleur ne peut pas s'effectuer dans des cornues chauffées extérieurement, parce que, d'une part, les parois des cornues en terre réfractaire sont trop poreuses et se laissent trop facilement traverser par les gaz, et, d'autre part, parce que la magnésie et l'oxychlorure de magnésium étant des corps très mauvais conducteurs de la chaleur, il faudrait un temps très long pour que la totalité de la charge ait atteint la température voulue. Or l'expérience a montré que, toutes choses égales d'ailleurs, la proportion de chlore libre dégagée est toujours d'autant plus grande et la proportion

[1] *Journal of the Society of chemical industry* (décembre 1887).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'acide chlorhydrique dégagée est toujours d'autant plus petite que l'oxychlorure a été porté plus rapidement à la température maxima.

Pour obvier aux inconvénients qui résultent de ces faits, M. Pechiney a imaginé un four composé de chambres verticales très étroites ayant des parois très épaisses. La partie supérieure de chaque chambre communique avec la chambre de combustion; la partie inférieure est mise en relation avec le brûleur mobile, dont il va être parlé, par des tubes en fonte horizontaux. Chaque four contient un certain nombre de ces chambres accouplées de telle sorte que la chambre de combustion débouche à la partie supérieure par un carneau ouvert et que les tubes de fonte horizontaux viennent aboutir dans un plan parallèle à celui du carneau de la chambre de combustion. Au devant de ce système se trouve le brûleur mobile, composé de tubes en fonte contenus dans une enveloppe en tôle solidement armée. Les tuyaux de fonte ont une section rectangulaire et chacun d'eux est divisé, par deux cloisons verticales, en trois compartiments. Les compartiments du centre portent le gaz combustible, provenant d'un foyer Siemens, dans la chambre de combustion; à cet effet ils sont munis d'une buse recourbée à angle droit qui pénètre dans le carneau supérieur de cette chambre; les compartiments latéraux servent à amener l'air nécessaire à la combustion dans ce même carneau. Les flammes traversent intérieurement les chambres de décomposition, et les produits de la combustion sont ramenés par les tuyaux horizontaux inférieurs dans le brûleur mobile où ils échauffent l'air avant de s'échapper dans le carneau de la cheminée.

Plusieurs systèmes de chambres à décomposition se trouvent accolés les uns aux autres en sorte que le même brûleur mobile peut être mis en relation avec chacun d'eux au moment convenable. A cet effet, le brûleur est monté sur un truc circulant sur des rails.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil :

Lorsque le premier système de chambres de décomposition se trouve chauffé à une température suffisante, on éloigne le brûleur mobile, on ferme les deux ouvertures supérieure et inférieure et on introduit dans les chambres de l'oxychlorure préalablement desséché et réduit en petits morceaux; puis on ferme immédiatement la porte par laquelle ce chargement a été pratiqué. L'oxychlorure de magnésium s'échauffe rapidement aux dépens de la chaleur des murettes constituant les parois des chambres, en même temps que l'air nécessaire à la décomposition est amené par de petites ouvertures convenablement ménagées. Le dégagement du chlore et de l'acide chlorhydrique commence aussitôt; ces gaz, aspirés par des cloches en plomb, s'échappent du four par un orifice inférieur et sont conduits vers l'appareil où doit s'opérer la condensation de l'acide chlorhydrique pour être ensuite dirigés dans les appareils où le chlore doit être absorbé.

Lorsque la décomposition de l'oxychlorure est assez avancée, l'admission de l'air

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans les chambres de travail est arrêtée, la porte de déchargement est ouverte et l'oxyde résiduel s'écoule des cornues par son propre poids.

Quand l'oxyde résiduel a été extrait, on ferme la porte de déchargement et l'appareil est prêt pour être réchauffé de nouveau au point convenable et recommencer la même série d'opérations.

On conçoit, par l'énoncé qui précède, qu'un même brûleur mobile suffit pour alimenter deux systèmes de chambres de décomposition, puisque les charges de ces fours se trouvent chacune à un degré différent d'avancement vers la décomposition complète, cette condition étant nécessaire afin que le mélange des gaz produits ait une richesse moyenne à peu près constante.

Les gaz produits dans les chambres de décomposition en sont extraits par un aspirateur à cloches de plomb, plongeant dans une dissolution concentrée de chlorure de calcium dans laquelle le chlore est à peu près insoluble.

Cet aspirateur n'est pas en communication immédiate avec le four, il exerce son action à travers :

1° Une tour ordinaire de lavage des gaz;

2° Une série de bonbonnes en grès;

3° Un réfrigérant à tubes de verres.

Ces appareils sont destinés à condenser l'acide chlorhydrique produit, lequel rentre de nouveau en fabrication.

Cet acide se trouve à environ 12 degrés Baumé; s'il était destiné à la vente il faudrait scinder les produits de la condensation et conduire l'opération de manière à enrichir les acides faibles recueillis pendant la première phase de la décomposition en leur faisant absorber le gaz acide chlorhydrique qui se dégage vers la fin.

Le chlore, aspiré par les cloches en plomb, est refoulé dans les appareils où doit se produire son absorption définitive, soit à l'état de chlorate de magnésie, soit à l'état d'hypochlorite de chaux.

Au sortir du four, la magnésie est refroidie dans un appareil mécanique, puis séparée par le blutage en deux parties :

1° La plus importante (les 6/7 environ) passe à travers le tamis et forme une poudre fine ne contenant guère plus de 4 p. 100 de son poids de chlore.

2° La moins importante (1/7 environ) reste dans le tamis à l'état de poudre grossière; elle est constituée, en grande partie, par de l'oxychlorure de magnésium qui a échappé à la décomposition. Cette partie du résidu est rechargée directement dans les fours avec une addition d'oxychlorure neuf.

La magnésie en poudre fine peut être vendue directement, car la minime quantité de chlore qu'elle renferme ne peut être un obstacle à la presque totalité des usages auxquels elle est destinée.

Le modèle de four exposé dans la classe 51 différait, par son agencement, des fours que nous venons de décrire et qui font partie de l'installation première de l'usine; dans

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cette nouvelle disposition, le brûleur, au lieu d'être mobile, est fixe, les deux fours sont accolés et la masse pivote suivant son axe vertical, de façon que chacun des fours vient se présenter suivant les besoins au brûleur. Cette disposition se prête mieux à l'exécution par machine des déplacements voulus.

Elle a, en outre, l'avantage de permettre de réduire à un seul, pour deux fours, plusieurs agencements accessoires, tels qu'une seule trémie de chargement, un seul tuyau d'arrivée de gaz combustible au brûleur, un seul tuyau d'extraction des gaz, chlore et acide chlorhydrique.

Ce dernier tuyau est en fonte et garni intérieurement d'un revêtement en pierre de Volvic mince, sur un parcours assez long pour permettre aux gaz de se refroidir à une température inférieure à la fusion du plomb, puis il est prolongé en plomb jusqu'au réfrigérant à tubes de verre.

L'usine de Salindres fabrique journellement 800 kilogrammes de chlore par ce procédé, lesquels sont utilisés exclusivement à faire du chlorate de magnésie.

A cet effet, les gaz, après avoir été débarrassés de leur acide chlorhydrique, sont envoyés dans des sortes de barattes horizontales en fonte, dans lesquelles se trouve de l'eau tenant en suspension de la magnésie. Le chlore est absorbé et donne naissance à la réaction bien connue d'où résulte une dissolution formée de 1 équivalent de chlorate de magnésie pour 5 équivalents de chlorure de magnésium.

Cette dissolution, traitée par 1 équivalent de chlorure de potassium, laisse cristalliser 1 équivalent de chlorate de potasse et fournit une eau mère contenant 6 équivalents de chlorure de magnésium. On retrouve ainsi à l'état de chlorure de magnésium la totalité du chlore mis en œuvre, c'est-à-dire sous l'état même où le procédé le prend pour le remettre en liberté. On produit donc du chlorate de potasse sans résidus d'aucune sorte par l'addition de 6 équivalents d'oxygène, empruntés à l'air, à 1 équivalent de chlorure de potassium.

La décomposition de l'oxychlorure de magnésium fournit 53 p. 100 de son chlore, à l'état libre, pour 47 p. 100 à l'état d'acide chlorhydrique.

Il reste dans les résidus de la calcination une quantité de chlore égale à 15 p. 100 environ du chlore chargé dans les cornues.

Pendant la dessiccation de l'oxychlorure, il se produit une perte de 6 à 7 p. 100 de chlore; il faut en outre évaluer à 5 p. 100 environ la perte de chlore qui se fait dans les diverses manipulations.

Ce procédé n'a pas encore une marche industrielle assez longue pour que l'on puisse se prononcer avec quelque certitude sur sa valeur absolue, non plus que sur son avenir; pour qu'il puisse prendre un grand développement il sera nécessaire de diminuer les pertes en chlore pendant la dessiccation de l'oxychlorure, d'augmenter la proportion de chlore libre dans le chlore total que dégage la décomposition, de diminuer la quantité de chlore restant dans la magnésie résiduelle, enfin, d'améliorer le chauffage des fours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces améliorations s'imposeront d'ailleurs, car l'industrie utilise actuellement d'autres procédés, entre autres le procédé Deacon, qui fournissent de très bons résultats.

Quoi qu'il en soit, le four imaginé et réalisé par M. Pechiney est excessivement ingénieux; il fait le plus grand honneur à son auteur, car, pour arriver à un tel résultat industriel, il faut non seulement une connaissance approfondie des réactions chimiques et une habileté d'ingénieur consommé, mais il faut de plus une patience et une persévérance extrêmes pour parvenir à vaincre les difficultés de toutes sortes qui naissent à chaque pas et pour réaliser pratiquement des réactions relativement faciles à obtenir dans le laboratoire, mais que les exigences de la pratique industrielle semblent devoir rendre impraticables lorsqu'il s'agit d'opérer sur de grandes masses de matière.

Le jury, tenant en haute estime les travaux de M. Pechiney, lui a décerné une médaille d'or.

M. Ed. Greiss (médaille d'or). — La maison Greiss a été fondée en 1884 par la réunion des deux anciennes maisons G. Hermann et Debatiste, bien connues pour la perfection de leurs outils en granit tourné et poli.

C'est G. Hermann qui, comme l'on sait, a imaginé en 1838 l'outillage spécial pour tourner le granit et les pierres dures à l'aide du diamant noir; c'est à lui également que l'on doit l'invention des machines à cylindres marchant à vitesse différentielle; bien des tentatives ont été faites à l'étranger, en Allemagne surtout, pour s'affranchir de l'obligation d'acheter les machines à broyer françaises, mais jusqu'à présent notre pays a toujours su conserver sa supériorité et la maison Greiss est restée en tête des établissements où s'opère le tournage du granit.

Si l'Exposition de 1889 ne présentait pas de machines réellement nouvelles créées par cette maison, c'est, on peut le dire, parce que les types connus sont d'une fabrication si parfaite et répondent si bien aux besoins des divers industries qu'il n'a pas été utile d'en combiner de nouveaux.

La médaille d'or que le jury a décernée à M. Greiss lui est un témoignage que ses efforts ont été appréciés et qu'il a su maintenir à un rang élevé la maison à laquelle il a appartenu comme ingénieur depuis plus de vingt ans et dont il a repris récemment la direction technique et commerciale.

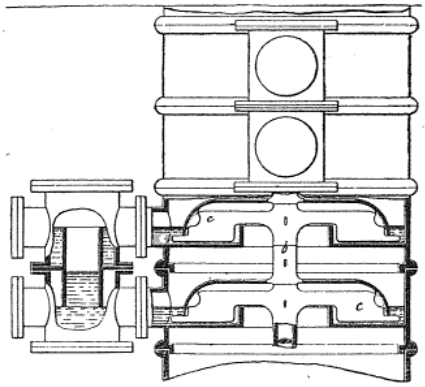
MM. Mallet et Pagniez (médaille d'or). — *Colonne distillatoire agitée et inobstruable.*

Lorsqu'on traite dans une colonne distillatoire des liquides contenant des matières solides ou produisant des précipités, ces colonnes s'obstruent rapidement, et, si la proportion de ces matières solides est importante, la distillation devient tout à fait impossible, il faut alors l'opérer dans des chaudières. Or il n'est pas besoin de démontrer que ces appareils plus encombrants et plus coûteux produisent une distillation moins parfaite, tout en nécessitant plus de combustible, plus de main-d'œuvre et plus de soins.

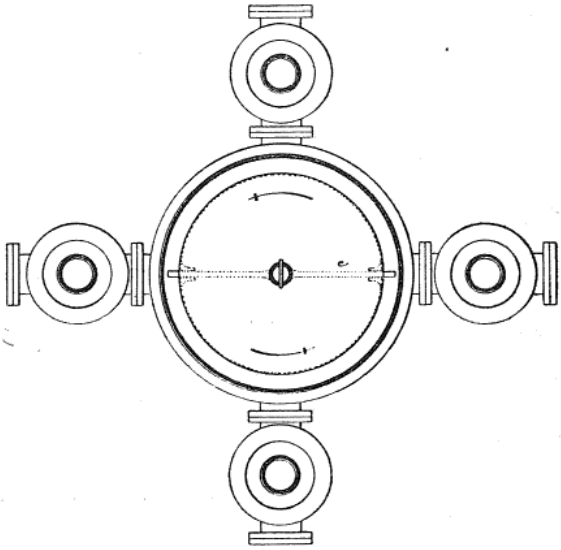
Depuis longtemps on avait essayé de remplacer les appareils à chaudière par des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

colonnes pour le traitement des eaux ammoniacales en présence de la chaux, mais les obstructions, les irrégularités de marche, l'épuisement imparfait, les démontages et les nettoyages fréquents avaient rendu l'emploi de ces appareils bien précaire.



Élévation et coupe.



Plan.

Fig. 2.

MM. Mallet et Pagniez ont pensé pouvoir remédier à tous ces inconvénients en agitant mécaniquement l'intérieur d'une colonne et, en 1873, ils installèrent un appareil d'essai à l'usine à gaz de Blois, mais ce ne fut qu'en 1881, après bien des tâtonne-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ments et des remaniements, qu'ils adoptèrent dans leur usine de la Tresne (Gironde), où ils traitaient les vidanges de Bordeaux, une colonne agitée, type de la figure 2, à calottes tournantes portant agitateurs, et à plongeurs extérieurs.

L'usine de la Tresne était astreinte à traiter les matières de vidanges dans les quarante-huit heures de leur arrivage, elles n'étaient alors que très imparfaitement déposées.

Cette colonne a fonctionné pendant six mois consécutifs sans nécessiter de démontages des plateaux quoiqu'on y introduisit du lait de chaux.

Il fallait néanmoins arrêter souvent la distillation pour procéder au nettoyage, sinon au débouchage des communications extérieures, qui constituaient des espaces morts, non soumis à l'agitation, et dans lesquels s'amassaient des dépôts de chaux, sels de chaux, etc.

Le résultat pratique obtenu était néanmoins satisfaisant puisqu'une colonne non agitée qui fonctionnait parallèlement nécessitait un nettoyage, comportant un démontage de tous les plateaux, tous les quinze à vingt-cinq jours, bien que cependant on n'y introduisit pas de lait de chaux.

Cet appareil ne pouvait néanmoins se prêter à la distillation des liquides très épais. Pour atteindre ce but MM. Mallet et Pagniez ont continué leurs recherches et ont créé le type de colonne, dont un spécimen figurait à l'Exposition de 1889 et dans lequel les espaces morts sont complètement supprimés.

Dans cette nouvelle colonne, toute la masse en traitement est constamment agitée par des moyens mécaniques, tous les passages — même ceux des gaz — sont continuellement explorés par des racloirs, d'où il résulte une inobstruabilité complète de l'appareil, quelle que soit la consistance des liquides qu'on y traite.

La figure 3 le représente en coupe verticale.

L'appareil comprend des parties fixes et des parties mobiles:

Parties fixes. — Elles sont constituées d'abord par le fond de l'appareil qui affecte la forme d'un entonnoir; sur ce fond viennent se superposer un certain nombre de bagues cylindriques, s'emboîtant les unes dans les autres. L'ensemble de toutes ces bagues forme l'enveloppe de la colonne.

Des tirants, reliés à la base et au couvercle, assujettissent l'ensemble des bagues, dont les joints sont obtenus par du plomb simplement coulé.

A l'intérieur de chacune des bagues cylindriques est venu de fonte un diaphragme périphérique de barbotage.

Chaque diaphragme plonge dans une cuvette et chaque cuvette repose par des taquets sur le diaphragme de la bague précédente.

Au centre de chacune de ces cuvettes se trouve un plongeur de très grand diamètre.

L'appareil est fermé à la partie supérieure par un couvercle sur lequel est venu de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

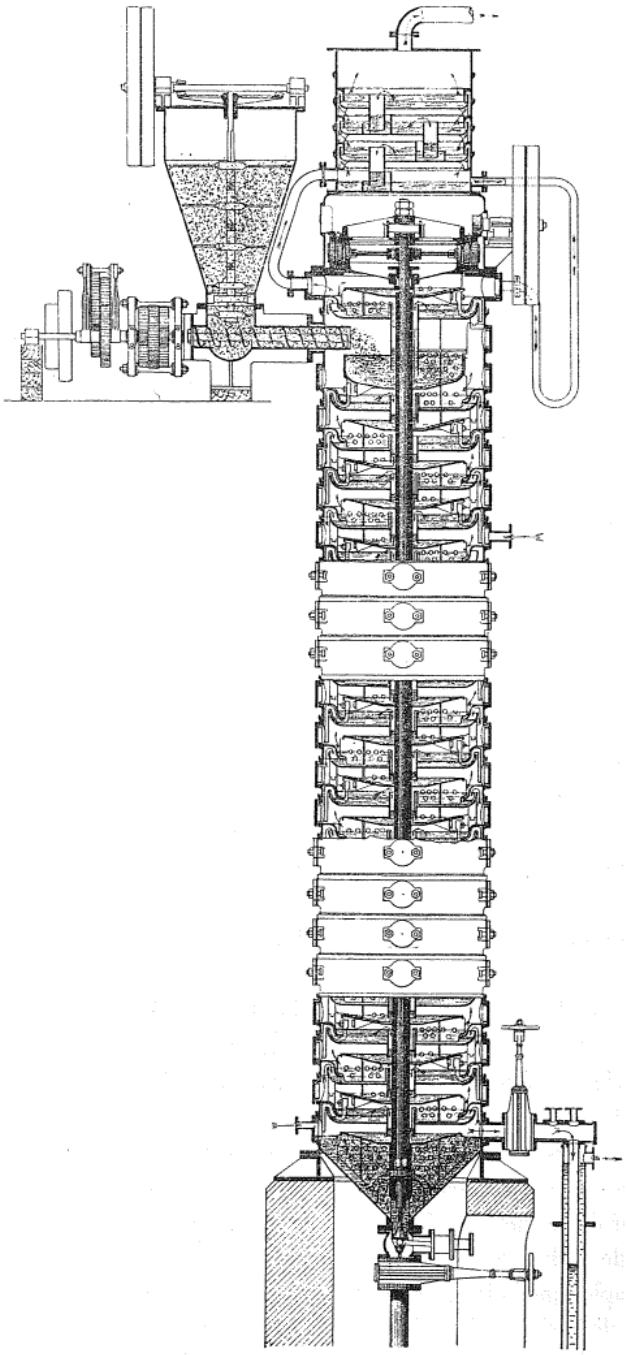


Fig. 3.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fonte un chemin de roulement circulaire. Ce couvercle est surmonté de la cage contenant et portant les organes du mouvement des parties mobiles.

Parties mobiles. — Elles sont intérieures et extérieures :

Parties mobiles intérieures. — Un arbre central règne dans toute la hauteur de l'appareil; il est à sa partie inférieure guidé dans un trou pratiqué au centre d'un croisillon, venu de fonte au fond de l'entonnoir. Au-dessus de la partie guidée de l'arbre existe un renflement au collet.

Des vasques à moyeu sont successivement enfilées sur l'arbre et réagissent toutes sur le collet inférieur; ces vasques alternent toutes avec les cuvettes fixes.

Les moyeux des vasques occupent une partie de la section des plongeurs des cuvettes; les tranches de tous les moyeux, sauf celles inférieure et supérieure de l'ensemble des vasques mobiles, sont taillées comme des griffes de manchon d'embrayage et s'emboîtent réciproquement.

Le moyeu inférieur étant calé sur l'axe, toutes les vasques sont entraînées dans le mouvement de rotation de l'arbre central, qui traverse tout l'appareil ainsi que le couvercle dans un presse-étoupe.

Parties mobiles extérieures. — L'extrémité supérieure de l'arbre central est rappelée par un écrou s'appuyant au centre d'un croisillon jouant le rôle d'une plaque tournante analogue à celles employées dans les gares de chemins de fer.

Le couvercle à presse-étoupe étant en forme de chemin de roulement inférieur, le croisillon calé sur l'arbre en constitue le chemin de roulement supérieur. Un système de galets coniques, à axes rayonnants, est interposé entre ces deux chemins qui, réagissant ainsi l'un sur l'autre, font travailler l'arbre central à la traction, comme un fil à plomb sur lequel seraient enfilées les vasques intérieures.

L'usure des parties frottantes est inappréciable parce que les frottements sont de roulement et que toutes les parties à graisser sont extérieures, accessibles et visitables à tout moment sans rien démonter.

Dans les dernières colonnes installées, les ouvertures de la cage de mouvement ont été placées au-dessus du niveau des galets coniques, en sorte que tout le système, presse-étoupe compris, est noyé dans un bain d'huile; le frottement et l'usure se trouvent ainsi réduits au minimum, et l'on n'a plus à s'occuper du graissage.

Les parties fixes et mobiles ont des relations réciproques qu'il est important de signaler :

1° Les vasques mobiles servent de godets aux plongeurs des cuvettes fixes;

2° Sous chaque cuvette fixe se trouve, venue de fonte, une pale agitatrice radiale. Cette pale, percée de trous pour favoriser le brassage des matières en traitement,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

épouse à une faible distance, par sa tranche, la forme de l'intérieur de la vasque mobile qui la précède;

3° Sous chaque vasque mobile se trouve également une pale radiale percée de trous dont la tranche épouse également, à une faible distance, la forme de la vasque qui la précède. Cette pale se continue jusque dans la partie annulaire libre du plongeur;

4° Et enfin, à 180 degrés de la pale de chaque vasque mobile, se trouve, fixé par des boulons, un racloir en acier, dont la fonction est d'explorer les passages de gaz sous le diaphragme de barbotage.

Les vasques mobiles sont orientées de façon qu'une pale quelconque se trouve à 180 degrés de celle de la vasque qui la précède ou la suit. Les cuvettes fixes sont orientées de la même façon.

Pour le traitement de certains liquides, contenant des corps denses volumineux que l'agitation est impuissante à maintenir en suspension, les inventeurs ajoutent la propulsion à l'agitation.

Comme on le voit dans le dessin (fig. 4) les cuvettes sont coniques en sens inverses des vasques et les pales sont en spirales.

Les corps denses volumineux sont propulsés ainsi de la circonférence au centre des cuvettes et du centre à la circonférence des vasques.

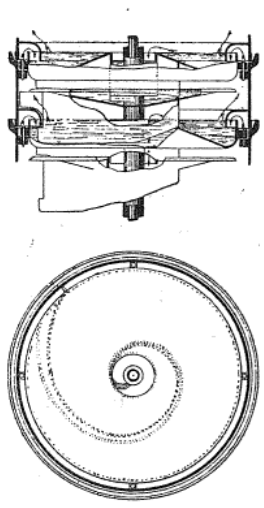


Fig. 4.

Propulseur de chaux. — Cet appareil est tellement simple qu'une description détaillée est inutile. (Voir le dessin de la coupe verticale de la colonne, fig. 3.)

La chaux est introduite dans une trémie traversée par un axe vertical, portant des bras remueurs, dont l'unique fonction est d'empêcher la formation de voûtes au-dessus de l'hélice horizontale qui puise la chaux dans la trémie et la transporte dans la colonne.

La chaux elle-même intercepte la communication entre l'intérieur de la colonne qui est toujours sous une pression supérieure à celle de la trémie.

En ordre de marche, ou en marche, la colonne qui vient d'être décrite se trouve constituée par des compartiments qui ne sont pas communiquants. Cette non-communication, dans le sens absolu du mot, caractérise l'appareil que l'on est convenu d'appeler une colonne distillatoire.

En résumé, un compartiment, ou plus simplement un tronçon, est constitué par la réunion :

1° D'une bague à diaphragme de barbotage;

2° D'une cuvette fixe à plongeur;

3° D'une vasque mobile formant godet plongeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une colonne distillatoire, du type de celle qui figurait à l'Exposition, se trouve montée depuis 1886 à Colombes, dans l'usine de M. Mallet, et traite quotidiennement 75 mètres cubes de matières de vidanges.

L'ensemble de cette installation est reproduit dans la figure 5.

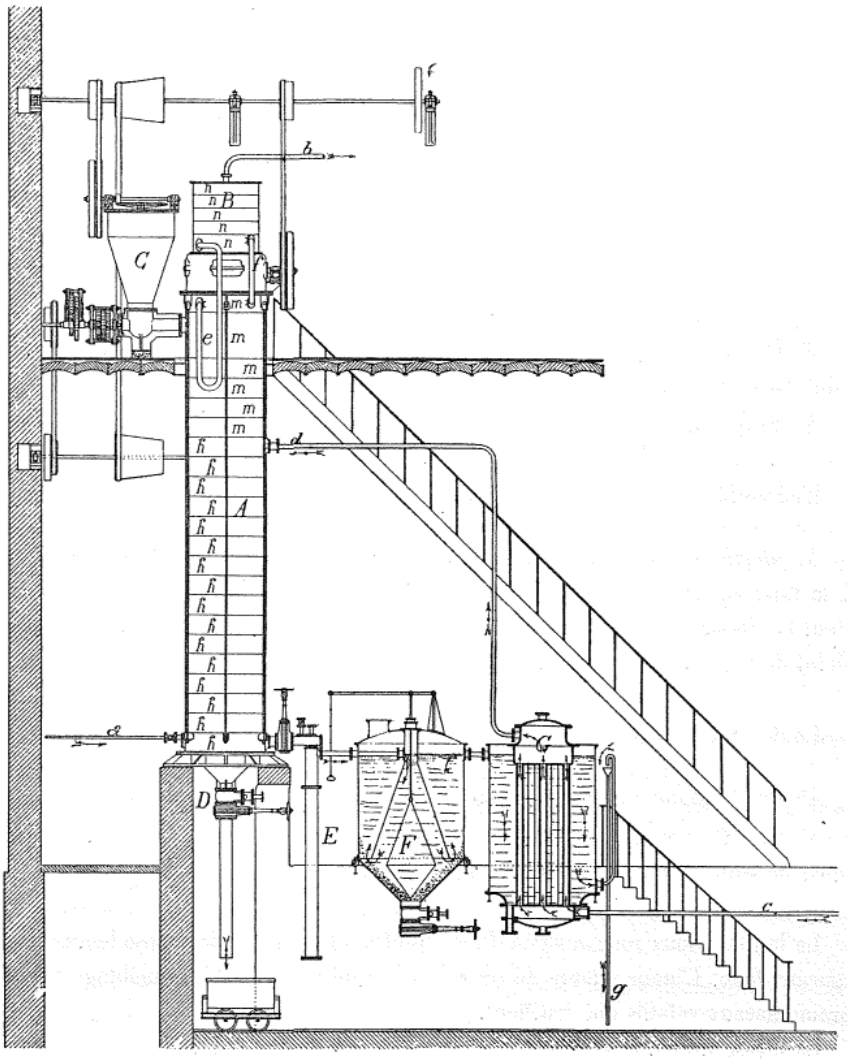


Fig. 5.

Le réchauffage préalable des liquides s'opère de la manière suivante :

Les liquides à traiter, refoulés par la pompe d'alimentation de la colonne, entrent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans le réchauffeur G par le bas du faisceau tubutaire, circulent dans l'intérieur des tubes et vont entrer dans la colonne agitée en *d*. Ils en sortent complètement épuisés et chauds par le siphon E, à l'état d'eaux résiduaires, mélangées de sels de chaux.

Ces eaux résiduaires s'écoulent dans le décanteur F, qui en retient la partie solide et laisse échapper la partie liquide claire, chaude, dans le réchauffeur G, à l'extérieur des tubes, d'où refroidies, elles sortent par le bas et se rendent à l'égout par le siphon *g*.

Fonctionnement de la colonne. — Il importe de savoir :

1° Que les vapeurs s'élèvent en barbotant au travers de tous les tronçons en suivant une marche inverse de celle des liquides. La marche des liquides est indiquée par des flèches ▒→ et celle des vapeurs par des flèches ▒→.

2° Que les tronçons *h*, situés au-dessous de l'entrée *d* des liquides à traiter dans la colonne, sont des *décomposeurs-distillateurs*.

3° Que les tronçons *m*, *n*, situés au-dessus des précédents jusqu'à la sortie des produits distillés, sont des *enrichisseurs-rétrogradateurs*.

4° Et qu'enfin ceux agités *m* jouent en même temps le rôle de *caustificateurs*.

L'ensemble de ces organes fonctionne de la manière suivante :

A. *Marche des liquides.* — Les tronçons *n* fournissent les condensations nécessaires à la mise en lait de la chaux distribuée dans la colonne par l'hélice du propulseur C, dont la vitesse est réglée proportionnellement à la richesse des liquides à traiter et au débit de la pompe d'alimentation de la colonne.

La descente s'opère :

1° Par le plongeur central, d'une cuvette dans la vasque qui suit ;

2° Par déversement, à la circonférence de la vasque, dans la cuvette suivante et ainsi de suite jusqu'en bas de la colonne.

Le lait de chaux rencontre en *d* les liquides à traiter et décompose leurs sels ammoniacaux fixes. L'ammoniaque de ces sels, ainsi mise en liberté, se mélange avec les sels ammoniacaux volatils qui distillent.

La masse traitée arrive dans le récipient qui forme le fond de la colonne, complètement dépourvue d'ammoniaque, à l'état d'eaux résiduaires mélangées de sels de chaux et de matériaux étrangers non attaqués.

Les matériaux peu denses, que l'agitation tient en suspension, passent avec les eaux résiduaires, par le siphon E, dans le décanteur F.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les matériaux denses et volumineux, silice, incuits, etc., que l'agitation est impuissante à maintenir en suspension, se rassemblent dans le fond conique d'où on les extrait de temps en temps par la soupape d'extraction D, qu'on manœuvre de l'extérieur par un levier.

Cette soupape, qui ferme de bas en haut, joue en même temps le rôle de soupape de sûreté de la colonne.

B. *Marche des vapeurs.* —La vapeur de chauffage entre dans la colonne, à sa partie inférieure, en *a;* elle barbote au travers de tous les tronçons dans lesquels elle se condense à mesure qu'elle s'enrichit.

Dans les tronçons *h,* elle met en liberté et entraîne les sels ammoniacaux volatils mélangés à l'ammoniaque de la décomposition des sels fixes par la chaux; dans les tronçons *m,* les vapeurs s'enrichissent et se caustifient; dans les tronçons *n,* elles se sèchent, elles sortent finalement en *b* à l'état de gaz ammoniac caustique et presque sec.

On les dirige à volonté soit dans des saturateurs garnis d'acide, pour fabriquer des sels ammoniacaux, soit dans une batterie d'épuration et de dissolution pour fabriquer de l'alcali.

La chaux, quoique presque complètement insoluble dans les liquides ammoniacaux, surtout dans les eaux-vannes, réagit violemment sur les gaz à caustifier et sur les sels ammoniacaux fixes à décomposer, et cela pour cette raison qu'à partir de sa mise en lait, et pendant tout son séjour dans la colonne, elle est maintenue en suspension et brassée constamment et énergiquement par le barbotage des vapeurs et par l'agitation mécanique.

Suivant la nature et la richesse des liquides à traiter, l'introduction dans la colonne se fait à des hauteurs différentes :

Pour les liquides pauvres, on introduit assez bas de façon à diminuer le nombre des tronçons distillateurs, ce qui augmente d'autant celui des rétrogradateurs;

Pour les liquides riches, au contraire, il faut introduire en haut, de façon à augmenter le nombre des distillateurs pour arriver à un épuisement parfait des eaux résiduaires.

Les parties qui constituent la colonne étant interchangeables, on peut aussi faire entrer la chaux dans tel tronçon qu'il convient.

L'emploi de cette colonne est indiqué pour tous les cas où l'on veut faire réagir des gaz ou des vapeurs sur des liquides quelconques épais ou contenant des corps étrangers, ou bien encore lorsque l'on a à traiter par des gaz ou des vapeurs des liquides dont l'action réciproque donne lieu à la formation d'un précipité.

Eu égard même au principe de l'agitation qui favorise le dégagement rapide des gaz ou des vapeurs, il semble qu'elle trouverait un emploi économique dans la distillation des liquides clairs, des moûts fermentés ou des flegmes de distillerie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pompe à piston inobstruable, à course variable. — L'alimentation régulière d'une colonne distillatoire est une condition indispensable à son fonctionnement, aucune pompe jusqu'ici n'assure une telle alimentation lorsqu'il s'agit de propulser dans une colonne en marche des liquides visqueux troubles ou contenant des corps étrangers comme sont les matières de vidange, par exemple.

Pour compléter leur installation de traitement des eaux-vannes, MM. Mallet et Pagniez ont étudié et réalisé une pompe à piston inobstruable, à course variable, dont un spécimen figurait à l'Exposition.

Les pompes centrifuges sont celles qui jusqu'ici semblent avoir donné les meilleurs résultats lorsqu'il s'agit d'élever à peu de hauteur de grandes masses de liquides chargés de corps étrangers; mais leurs qualités digestives se payent fort cher. Elles rendent en effet très peu de la force motrice qu'elles consomment, et leur puissance d'élévation en hauteur est limitée. De plus elles ne se prêtent pas facilement aux faibles débits qu'on doit pouvoir faire varier à volonté et qui, une fois réglés, doivent rester constants comme cela est indispensable pour l'alimentation de certains appareils de distillation. Les pompes rotatives employées à l'élévation des liquides chargés de corps étrangers ont une usure rapide de leurs parties frottantes et sont sujettes à des ruptures fréquentes causées par l'introductton de corps durs volumineux.

Lorsqu'il s'agit de tels liquides c'est la pompe à piston, à mouvement alternatif, malgré toutes ses défectuosités, qui doit encore être préférée, non seulement parce que son rendement est supérieur à celui de toutes les autres, mais encore et surtout parce qu'elle se prête facilement à des dispositifs de réglage de débit.

Néanmoins, les services que rend la pompe à piston sont loin, dans certains cas, d'être satisfaisants : lorsqu'on élève, avec une pompe de ce système, un liquide clair, le clapet le plus simple est celui qui retombe sur son siège en vertu des lois de la pesanteur, mais lorsque le liquide pompé est chargé de corps étrangers, ceux-ci retombent avec le clapet, se déposent sur les sièges, ou dans leur voisinage, encrassent les guides, et, finalement, gênent ou arrêtent complètement le fonctionnement de la pompe.

Rien à l'extérieur ne révèle le fonctionnement anormal au moment où il se produit; si un accident de ce genre se déclare dans une pompe alimentant une colonne distillatoire on ne s'aperçoit de son arrêt ou de la diminution du débit que lorsque des perturbations, qui nécessitent parfois l'arrêt forcé de la colonne, se sont manifestées. Il faut alors arrêter le mouvement de la pompe, démonter la boîte à clapet et la nettoyer, et quelquefois réamorcer la pompe.

Au cours de ces opérations, une partie du liquide qu'on manipule se répand, occasionnant une perte, s'il a une valeur, et dans tous les cas souille le sol de l'atelier.

L'appareil imaginé par MM. Mallet et Pagniez obvie à ces inconvénients; le dispositif adopté consiste principalement dans le renversement des boîtes à clapet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le dessin suivant donne un spécimen des dispositions nouvelles :

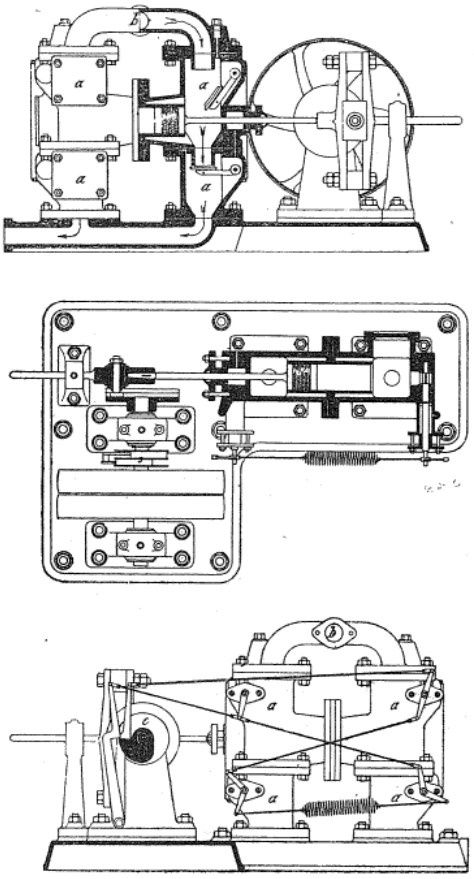


Fig. 6.

Comme on le voit le liquide arrive dans les boîtes à clapet *a, a* par leur partie supérieure en *b;* le courant qui les traverse est donc descendant, au lieu d'être ascendant. Les effets de la pesanteur sur les corps étrangers, au lieu de se retrancher de ceux du courant, s'y ajoutent pour accélérer leur mouvement au lieu de le retarder.

Comme le montre plus particulièrement la figure 6, les conduits obstrués par les clapets sont de préférence disposés deux à deux sur un même axe horizontal.

Les clapets sont rappelés de bas en haut par un levier du premier genre, dont la petite branche intérieure appuie sur le clapet, et sur la grande branche duquel glisse un contrepoids curseur.

L'axe d'articulation de ce levier traverse un presse-étoupe, à clapet hydraulique. Il résulte de ces dispositions que si des corps volumineux ne trouvent pas passage par l'ouverture que la levée du clapet offre au courant, ou si ces corps s'arrêtent et forment cale entre siège et clapet, le conducteur des appareils voit de suite que l'angle de battement que doit décrire le levier extérieur n'est plus normal; il peut rétablir de suite, à la main, le fonctionnement régulier de la pompe, sans l'arrêter ni rien démonter, en soulevant simplement le levier paralysé, de façon que le clapet démasque complètement la section du conduit obstrué. La vigilance coûteuse et douteuse de l'ouvrier peut même être supprimée par une disposition ingénieuse qui réalise automatiquement à un moment choisi de la course du piston et à chaque coup de celui-ci la manœuvre que l'on demande à l'ouvrier en cas de trouble de fonctionnement.

A cet effet, la double came C, convenablement calée sur l'arbre des poulies, attaque alternativement deux leviers qui, à l'aide de tringles, actionnent chacun et ensemble un clapet d'aspiration et un clapet de refoulement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces leviers sont rappelés sur la double came par un ressort tendu deux fois par tour de l'arbre.

Le système de pompe Mallet et Pagniez convient également bien à l'alimentation des filtres-presses dans lesquels il s'agit toujours de refouler à haute pression des liquides chargés de corps étrangers; il remplacera avec avantage les monte-jus à vapeur ou à air comprimé, lesquels sont dispendieux d'installation, consomment beaucoup de vapeur ou de force motrice, exigent un emplacement assez grand et réclament une manœuvre manuelle fréquemment renouvelée et par suite onéreuse.

Le jury a décerné à M. Pagniez une médaille d'argent à titre de collaborateur; renseigné plus tôt sur sa participation dans l'invention des appareils ci-dessus décrits, il n'eût pas hésité à lui accorder une médaille d'or.

MM. Solvay et Cie (Belgique). — La fabrication de la soude au moyen du sel marin et de l'ammoniaque a conquis une place à part dans le monde industriel, et son développement tend de jour en jour à s'accroître. Alors qu'en 1864 elle ne produisait que quelques centaines de tonnes, elle fournit actuellement presque la moitié de la soude consommée dans le monde entier.

La généralisation du procédé à l'ammoniaque a créé une concurrence ruineuse au procédé Leblanc dont elle a changé pour ainsi dire le but. Imaginé au début en vue de la fabrication de la soude artificielle, et négligeant ses produits secondaires, il ne peut lutter aujourd'hui que grâce à la vente de ces sous-produits; il est devenu le grand producteur de chlore et la soude n'est plus pour lui que le produit accessoire.

En même temps que la production totale de la soude prenait un essor considérable (900,000 tonnes en 1888 contre 150,000 tonnes en 1850) les prix de vente subissaient une diminution de près de 50 p. 0/0; c'est là un avantage immense dont l'industrie tout entière a profité, car la soude est la matière première indispensable à une foule d'industries : fabrication du verre, du savon, de la pâte à papier, blanchiment des tissus, teinture, etc., et l'on peut dire qu'il est possible de juger du degré de bien-être et de civilisation des peuples en même temps que de leur prospérité commerciale par leur consommation en soude.

Tout perfectionnement apporté à la fabrication de la soude a donc une importance considérable puisqu'il a sa répercussion sur toutes les autres industries.

La fabrication de la soude à l'ammoniaque consomme annuellement des quantités assez importantes d'ammoniaque; on a donc été amené à s'occuper de récolter ce produit dans tous les endroits où il prend naissance et à rechercher les moyens d'en augmenter la production tout en diminuant le prix. C'est ainsi que l'on est parvenu à récupérer les eaux ammoniacales des fours à coke et que l'on a dû s'adresser aux petites usines à gaz dont les sous-produits étaient jusqu'alors négligés.

Il fallait, pour pouvoir utiliser économiquement ces sources d'ammoniaque, avoir le moyen de concentrer simplement et facilement les eaux faibles afin d'en rendre le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

transport possible aux soudières. L'appareil imaginé et exposé par MM. Solvay et Cie résout ce problème d'une façon très simple et présente des avantages très sérieux sur ceux qui étaient autrefois en usage.

C'est uniquement au point de vue de l'étude de cet appareil que les investigations du jury de la classe 51 ont porté; la médaille d'or qui a été attribuée à MM. Solvay et Cie ne récompense donc que cette partie de leur fabrication et ne vise en aucune manière la fabrication proprement dite, non plus que la valeur des produits fabriqués qui ressortissent à la classe 45.

Les eaux ammoniacales faibles, provenant soit des fours à coke, soit des usines à gaz, doivent, avant tout traitement, être concentrées ; ordinairement cette opération se fait méthodiquement dans des appareils à marche continue. Les appareils anciennement en usage se composaient de plateaux ou compartiments superposés et affectaient la forme des colonnes distillatoires employées pour la concentration de l'alcool. Cette disposition verticale avait été adoptée parce qu'elle se prête facilement à un mouvement du liquide dans une direction opposée à celle des vapeurs ammoniacales, condition essentielle pour un enrichissement méthodique.

Ainsi construits, les appareils présentent plusieurs inconvénients: impossibilité d'employer un chauffage direct à feu nu, ou un chauffage indirect à la vapeur, puisque la distillation doit s'opérer par la vapeur employée à l'intérieur de l'appareil et mélangée aux vapeurs du produit distillé; nécessité d'élever les liquides à une certaine hauteur, pour leur introduction dans l'appparеil; surveillance difficile des différents organes.

Le premier de ces inconvénients est le plus grave, car il nécessite l'emploi d'un générateur spécial dans les usines qui n'ont pas d'excès de vapeur à leur disposition et par suite rend le fonctionnement de l'appareil moins économique.

M. E. Solvay a imaginé pour la concentration des eaux ammoniacales un appareil qui réalise l'opération dans des conditions très avantageuses. Au lieu de le disposer en élévation, sous la forme des colonnes distillatoires à alcool, il l'a placé horizontalement et il l'a chauffé à feu nu.

Le principe de son fonctionnement repose sur ce fait que lorsqu'un gaz (ou une vapeur) circule dans un tuyau vertical il peut entraîner mécaniquement avec lui une certaine quantité de liquide sous forme de projection ; si la masse du gaz est assez grande par rapport à la masse du liquide et si la vitesse est convenable, le liquide peut être élevé à une hauteur bien supérieure à celle représentée par la pression du gaz ou de la vapeur, sans que cette pression soit sensiblement diminuée.

Voici la description de cet appareil tel qu'il fonctionne aujourd'hui, après avoir reçu tous les perfectionnements qu'une pratique courante a permis aux collaborateurs de M. E. Solvay, et notamment à M. Louis Semet, d'y apporter.

L'appareil comprend: l'appareil distillatoire proprement dit; le caustificateur; le condenseur; le laveur des gaz inertes; le régulateur d'alimentation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

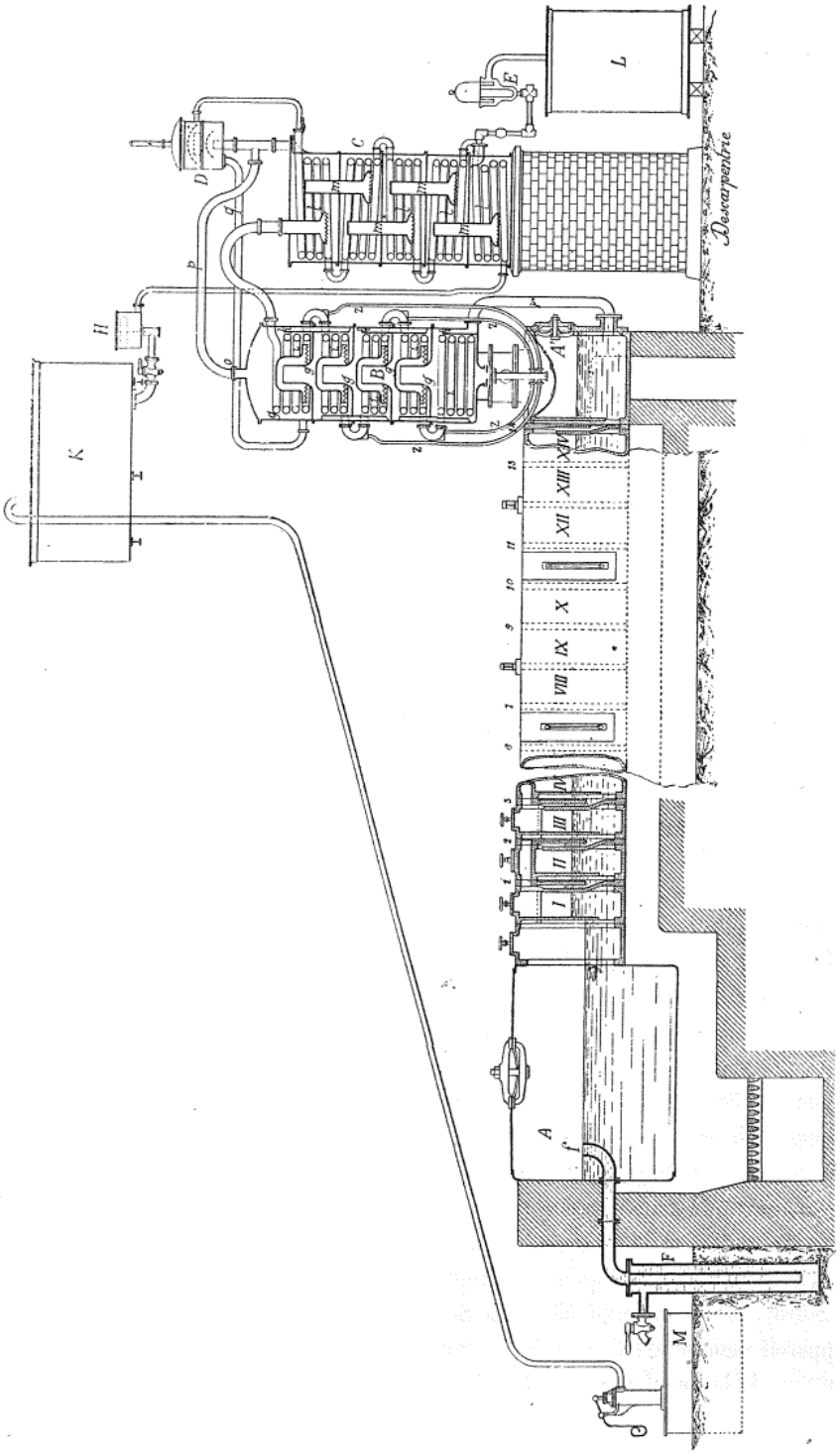


Fig. 7.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil distillatoire proprement dit. — Il se compose d'une partie en tôle, de section elliptique, se trouvant au-dessus du foyer, et d'une série de tronçons cylindriques en fonte entre lesquels on a intercalé les plateaux I, II, III, ... XIV (fig. 7) présentant une ouverture rectangulaire *d* (fig. 8) dont le bord supérieur est dentelé, et deux ori-

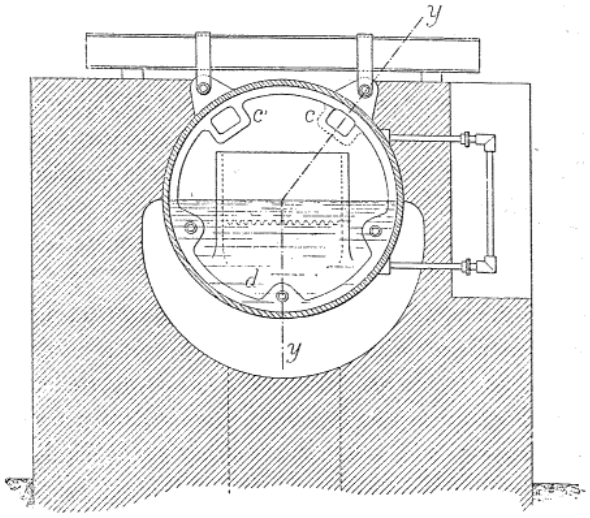


Fig. 8.

fices, *c* et *c'*, correspondant aux passages *b* et *b'* (fig. 8), venus de fonte avec les tronçons et placés alternativement à droite et à gauche ; chacun des tronçons porte un fond d'un côté seulement, fond ayant vers le bas une ouverture ; ces plateaux et tronçons sont boulonnés entre eux et le tout forme un ensemble dans lequel le liquide à distiller entre à l'extrémité A' (fig. 7), opposée au foyer, pour sortir épuisé en A au-dessus de celui-ci, tandis que les vapeurs suivent une marche inverse et aboutissent au caustificateur.

Considérant les tronçons I, II, III (fig. 9), voici comment les choses se passent : la vapeur produite en A traverse le passage *b*, descend entre le plateau I et le fond du tronçon II, abaisse par sa pression le niveau de l'eau jusqu'au bord dentelé de l'ouverture *d* et pénètre par le passage *e* dans le premier tronçon I en entraînant avec elle une partie du liquide du tronçon II. De même la vapeur du tronçon I projette dans le tronçon II une partie du liquide du tronçon III.

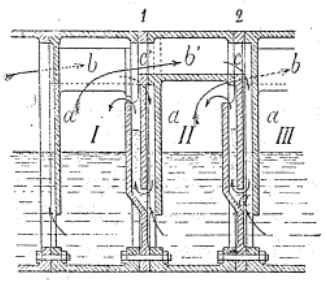


Fig. 9.

Les eaux ammoniacales, préalablement échauffées, entrent en A' et se dirigent vers le foyer, en abandonnant dans chaque tronçon une partie de leur ammoniaque, jusqu'à leur sortie en *f* où elles sont épuisées. La sortie est réglée par une garde hydraulique F.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant aux vapeurs, on conçoit facilement leur marche en sens inverse; elles sont de plus en plus chargées d'ammoniaque en s'éloignant du foyer.

La pression de vapeur diminue graduellement d'un tronçon à l'autre d'une quantité constante x, égale à la pression nécessitée par la projection de l'eau et les frottements; la pression totale absorbée par l'appareil est donc égale au nombre des plateaux multiplié par la constante x.

Des indicateurs de pression à l'avant et à l'arrière, ainsi que des indicateurs de niveau d'eau, permettent de suivre parfaitement la marche de l'appareil.

Chacun des tronçons est muni d'un trou d'homme à la partie supérieure, la visite en est donc facile; tout étant boulonné, la réparation ou le remplacement d'une pièce est aisé et se fait rapidement.

La disposition horizontale donnée à l'appareil n'exige qu'un faible emplacement et une maçonnerie peu coûteuse.

Celle-ci pourrait être supprimée si l'on marchait à la vapeur; dans ce cas la vapeur devant provoquer la distillation serait introduite en A.

Les dimensions de ces chaudières distillatoires varient naturellement avec la quantité d'eau à traiter; il en existe de plusieurs types distillant par vingt-quatre heures depuis 6 mètres cubes jusqu'à 48 mètres cubes d'eaux ammoniacales de 2 degrés 1/2 à 3 degrés Baumé.

Appareil caustificateur. — Les appareils distillatoires traitant les eaux ammoniacales de la distillation de la houille donnent généralement des eaux concentrées dans lesquelles l'ammoniaque est combinée principalement à l'acide carbonique et à l'acide sulfhydrique.

Au point de vue de l'économie du transport de ces eaux et de leur concentration maximum, il y a grand avantage à obtenir l'ammoniaque à l'état caustique; on évite, en outre, de cette manière les cristallisations de carbonate d'ammoniaque dans les récipients servant à l'emmagasinage et au transport.

Cette caustification s'opère ordinairement en traitant les eaux ammoniacales par la chaux qui, en se combinant à l'acide carbonique, met l'ammoniaque caustique en liberté.

Ce résultat est obtenu beaucoup plus simplement dans l'appareil Solvay au moyen de la chaleur seule par l'emploi d'un organe appelé *le caustificateur,* appareil qui produit en réalité une distillation des gaz inertes, acides carbonique et sulfhydrique, avant la distillation de l'ammoniaque. On sait, en effet, que le carbonate et le sulfhydrate d'ammoniaque se dissocient lorsque ces corps sont portés à une température convenable.

L'appareil caustificateur se monte ordinairement, ainsi qu'il est représenté dans la figure 7, sur le dôme de la chaudière distillatoire AA'. Il comprend plusieurs compartiments à barboteurs g superposés, munis de trop-pleins h pour le passage des eaux et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lesquels se trouve un serpentin continu *i* où circulent de bas en haut les vapeurs ammoniacales de la distillation de la chaudière AA′; ces vapeurs, par l'intermédiaire du serpentin, échauffent les eaux ammoniacales contenues dans les divers compartiments, de façon que la température de ces eaux dans chaque tronçon soit graduellement décroissante depuis le bas jusqu'en haut.

La vapeur d'eau contenue dans les vapeurs ammoniacales se condense et retourne à la chaudière distillatoire par les tuyaux *z*.

Les vapeurs ammoniacales sèches vont au condenseur C où elles achèvent de se refroidir et se condensent graduellement en barbotant dans leur eau de condensation refroidie par le contact d'un serpentin dans lequel circulent les eaux ammoniacales à traiter, qui sont ainsi échauffées jusqu'à 35 à 40 degrés centigrades.

Les eaux à traiter, au sortir du réservoir K, passent dans un régulateur d'alimentation H, dans le serpentin *l* du condenseur, vont au laveur des gaz inertes D, et entrent par le tuyau *q* au compartiment supérieur du caustificateur, où elles s'échauffent au contact du serpentin *i*, et s'écoulent par le trop-plein *h* dans le deuxième compartiment où elles s'échauffent encore au contact du serpentin jusqu'à la température de dissociation des gaz ammoniacaux, et descendent ainsi par trop-plein d'un compartiment à à l'autre en s'échauffant de plus en plus; finalement elles sortent à la partie inférieure pour entrer par le tuyau *r* dans la chaudière en A′ où elles distillent immédiatement de l'ammoniaque.

Les gaz dégagés vont barboter successivement dans les compartiments supérieurs à température graduellement décroissante de bas en haut, de telle sorte que l'ammoniaque plus soluble se redissout dans les eaux moins chaudes et les gaz carbonique et sulfhydrique passent dans les autres compartiments jusqu'à la sortie *o*.

Ces gaz inertes vont par le tuyau *p* se laver dans le laveur D, où ils abandonnent aux eaux à traiter l'ammoniaque entraînée, et peuvent ensuite être envoyés sous le foyer de la chaudière, ou bien dirigés vers un épurateur à oxyde de fer ou bien encore, ce qui est le cas le plus fréquent, simplement dégagés dans l'atmosphère par la cheminée de l'usine.

L'appareil caustificateur a donc l'effet multiple :

De caustifier les eaux à traiter par la chaleur seule;

De réchauffer ces eaux jusqu'à température convenable pour la distillation de l'ammoniaque;

De sécher les vapeurs ammoniacales, ce qui permet d'obtenir des eaux concentrées de 26 à 33 p. 100 d'AzH^3, sans cristallisations.

Condenseur. — Il se compose d'un certain nombre de tronçons superposés dans lesquels se trouve un serpentin continu *e*, des plongeurs *m* pour le passage des vapeurs à condenser servant en même temps de trop-plein pour les eaux de condensation.

Les vapeurs entrent par la tubulure du couvercle du tronçon supérieur et circulent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'un tronçon à l'autre, en barbotant et en se condensant dans leur eau de condensation, qui descend par trop-plein, et se refroidit de plus en plus au contact du serpentin *l*, dans lequel passent de bas en haut les eaux ammoniacales à traiter, qui s'échauffent graduellement par la condensation de ces vapeurs, ce qui rend l'appareil un récupérateur méthodique de chaleur.

Les eaux concentrées sortent en bas du condenseur par un déversoir E.

Régulateur d'alimentation. — Il se compose d'un petit réservoir K, muni à sa partie inférieure d'une soupape à flotteur, qui maintient le niveau de l'eau à une hauteur convenable dans ce réservoir. Le mouvement du flotteur ouvre plus ou moins la soupape suivant l'écoulement.

Lorsque les eaux ammoniacales contiennent certains sels fixes (sulfate, chlorhydrate, etc.), la dissociation de ces sels ne peut s'opérer par la chaleur seule; il faut au préalable les décomposer par un alcali.

Généralement on emploie la chaux. Lorsqu'on veut faire usage de cette base il suffit d'interrompre la circulation de l'eau vers le milieu du système AA′ et de la faire passer dans un appareil spécial contenant de la chaux, dans lequel les sels fixes se décomposent.

Les eaux exemptes de chaux sont ensuite restituées à la chaudière pour distiller ce qui reste d'ammoniaque.

Mais avec la chaux, quelle que soit la disposition employée, il est presque impossible d'éviter les encroûtements, ce qui oblige à de fréquents nettoyages; de plus la récupération de l'ammoniaque est toujours assez incomplète.

En faisant usage du carbonate de soude ces inconvénients sont évités.

Théoriquement pour 17 kilogrammes d'ammoniaque à l'état de sels fixes, il faut 54 kilogrammes de carbonate de soude; en pratique il convient de majorer ce chiffre de 10 p. 100.

La détermination de la quantité de sels fixes contenus dans les eaux à traiter est fort simple et peut être faite par l'ouvrier chargé de la concentration.

L'emploi du carbonate de soude ne nécessite pour ainsi dire pas de surcroît de main-d'œuvre; le carbonate de soude est dissous dans un réservoir M au moyen des eaux épuisées chaudes sortant de l'appareil distillatoire; la dissolution peut être ainsi fort concentrée et la quantité à pomper dans le réservoir K est assez faible.

L'appareil de M. Solvay peut être également utilisé à la fabrication du sulfate et du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'alcali volatil. Il suffit de diriger les vapeurs ammoniacales au sortir du serpentin du caustificateur dans un bain d'acide sulfurique ou chlorhydrique ou bien de les faire passer dans un laveur à soude caustique ou à lait de chaux, pour enlever les dernières traces d'acides carbonique et sulfhydrique.

Les appareils de M. Solvay sont, on le voit, l'application industrielle très ingénieuse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de propriétés physiques connues; ils se prêtent à de nombreux emplois : aussi n'ont-ils pas tardé à se répandre dans l'industrie.

Leur application a été faite notamment :

En France: à Paris et aux usines à gaz de Bordeaux, Dunkerque, Valenciennes, Cambrai, Arras, Saint-Omer, Roubaix et Wazemmes (Lille); aux fours à coke de Bessèges (Gard) et de Terrenoire (Loire);

En Belgique : aux usines à gaz de Bruxelles, Gand, Mons, Louvain, Ostende, Tournai, Wasmuel; aux fours à coke d'Havré près Mons, et chez MM. Gits et Cie, à Anvers;

En Hollande: aux usines de La Haye, Leyde, Utrecht et Zwolle, Nimègue;

En Allemagne: aux usines à gaz de Metz, Trèves, Hambourg, Mannheim;

Enfin aux usines à gaz de Rome, Venise, Saint-Pétersbourg et dans certains établissements des États-Unis.

Eu égard aux progrés réalisés par ces appareils, le jury a décerné une haute récompense à leur inventeur.

Aéro-condenseur Fouché (médaille d'argent). — Sous le nom d'*aéro-condenseur*, M. Fouché a exposé un appareil destiné à utiliser la chaleur perdue des machines à condensation.

Cet appareil se compose d'un faisceau de tubes verticaux assemblés dans deux plaques en tôle sur lesquelles viennent se boulonner deux calottes creuses en fonte, de manière à former, à chaque extrémité des tubes, une chambre où ils aboutissent tous. Un ventilateur à hélices lance un courant d'air violent sur les parois extérieures de ces tubes.

La vapeur arrive dans la chambre supérieure de l'appareil, se distribue dans les tubes verticaux et s'y condense sous l'action du courant d'air chassé autour de ces tubes.

L'eau qui résulte de la condensation se réunit dans la chambre inférieure d'où elle est extraite par une petite pompe à air analogue à celle des machines à condensation, et sert ensuite à l'alimentation des générateurs.

Un appareil ainsi construit, fonctionnant avec 50 ou 60 centimètres de vide, exige 30 mètres carrés de surface de tubes environ par 100 kilogrammes de vapeur condensée et consomme environ un demi-cheval de force; il n'entraîne donc pas sensiblement plus de dépense qu'un condenseur à eau ordinaire.

L'air échauffé par son passage dans l'appareil peut être utilisé à une foule d'usages; il constitue notamment un moyen de séchage très puissant. On sait, en effet, que la vapeur qui a épuisé son effet mécanique dans le cylindre d'une machine n'y a perdu qu'une très faible partie de la chaleur qu'elle possédait; elle en contient donc encore une très grande quantité qu'elle cède tout entière à l'air qui circule autour des tubes; c'est ainsi, par exemple, qu'un aéro-condenseur recevant la vapeur d'une machine de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

15 chevaux, dans des conditions moyennes, peut, suivant son mode de construction, fournir à un séchoir, par heure :

20,000 mètres cubes d'air échauffé de 20 degrés; ou 13,000 mètres cubes d'air échauffé de 30 degrés; ou 10,000 mètres cubes d'air échauffé de 40 degrés.

La température peut même être élevée à 50 degrés.

Le séchage ainsi produit est d'une régularité parfaite, car l'air a une température constante et se trouve renouvelé dans toutes les parties du séchoir; de plus, la matière soumise au séchage n'est exposée à aucune cause d'altération, puisque l'appareil ne produit ni poussière ni fumée et ne peut donner lieu en aucun cas à des fuites de vapeur comme cela se produit souvent dans les installations ordinaires.

Il peut s'appliquer avec avantage à la condensation des vapeurs des appareils à évaporer ou à cuire dans le vide.

La construction de cet appareil ne remonte qu'à 1880; il a déjà reçu de nombreuses applications pour le séchage des cuirs, des laines, des bois de parquet, des colles, des phosphates, des feutres, du papier, des savons, des pâtes à porcelaine, des produits alimentaires, des gélatines, etc.

Dans les tanneries, corroiries, fabriques de parquets, fabriques de porcelaine, savonneries, etc., l'air chaud est distribué dans les séchoirs par des conduits en bois; dans les mégisseries, maroquineries, fabriques de colle, fabrique de superphosphates, lavages de laines, etc., on fait passer l'air sur une série de chariots contenant les matières à sécher et disposés de manière à circuler en sens inverse du courant d'air.

On voit, par ces opérations multiples, que l'aéro-condenseur de M. Fouché peut rendre de réels services dans un très grand nombre d'industries ayant une force motrice et cela en améliorant la marche et la puissance de la machine et en fournissant sans aucun surcroît de dépenses une masse considérable d'air chaud.

M. André Duchscher (grand-duché du Luxembourg) [médaille d'argent]. — *Presse à levier différentiel.* — Les presses exposées par M. Duchscher présentaient un dispositif spécial permettant une pression très énergique sans cependant exiger un trop grand effort sur le levier.

Ces appareils, dits *à levier différentiel,* se composent d'un écrou, d'un levier à clavettes, d'un levier multiplicateur, d'une barre de manœuvre et d'un socle de pression.

L'écrou est muni d'une couronne dans laquelle sont ménagés un certain nombre d'orifices également espacés et symétriquement disposés par rapport à la circonférence; sur cette couronne se place un disque contenant un nombre plus petit ou plus grand d'orifices également espacés et répartis d'une manière différentielle sur une circonférence de même diamètre que celle de la couronne d'orifices de l'écrou. Ce disque, pourvu d'un appendice latéral, constitue le levier différentiel. Dans chacun de ses orifices se trouvent placées des clavettes mobiles taillées en biseau, à angle arrondi à leur partie inférieure, lesquelles montent et descendent successivement dans les orifices de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'écrou, lorsque des mouvements de va-et-vient sont imprimés au levier différentiel qui les porte.

La différence entre les espaces des deux systèmes d'orifices des couronnes de l'écrou et du levier constitue toute l'originalité de l'invention exposée.

Supposons, par exemple, une presse dans laquelle le levier possèdera 7 orifices et 7 clavettes tandis que le disque de l'écrou aura 8 orifices; la somme des différences ménagées progressivement entre les 7 clavettes et les 8 orifices se trouve égale à 1/8 de la circonférence; il en résulte que si l'on imprime au levier portant les clavettes des mouvements alternatifs dont l'amplitude corresponde à 1/7 du total des différences en question, les 7 clavettes tomberont successivement dans les orifices de l'écrou et par suite lui imprimeront un mouvement de rotation.

La sortie des clavettes des orifices de l'écrou, lors du mouvement de rétrogradation, se trouve facilitée par la forme du biseau donnée à leur extrémité inférieure. Grâce à cette disposition différentielle des clavettes, l'effet utile se produit sur un parcours égal à 1/56 (7×8) de la circonférence, en sorte que l'action du levier sur l'écrou est semblable à celle que produirait une couronne possédant 58 orifices desservis par une clavette unique.

Ce principe peut être étendu à un nombre quelconque de divisions, et l'amplitude des mouvements du levier contenant les clavettes varie en raison inverse du nombre des clavettes. Plus il y a de clavettes et moins rapidement s'opère la descente de l'écrou sur la vis.

Au début de la pression, la mise en rotation de l'écrou peut s'opérer avec une grande rapidité. A cet effet, la barre de manœuvre vient s'engager directement dans une mortaise pratiquée à l'extrémité de l'appendice latéral du levier différentiel.

Dès que la masse devient plus résistante, on retire la barre de manœuvre de sa mortaise et on l'introduit dans l'orifice du levier multiplicateur, lequel se compose d'une pièce reliée au socle de pression par deux crampons mobiles et présentant deux trous égaux en diamètre dans lesquels peut s'engager à volonté un goujon fixé sur une pièce mobile présentant d'un côté une mortaise pour l'introduction du bras de manœuvres et de l'autre un galet tournant librement autour de son axe. Ce galet vient se loger dans un évidement allongé pratiqué à l'extrémité de l'appendice latéral du levier différentiel et lui transmet la force en coulissant dans l'évidement.

La distance entre le point d'application de la force (le galet) et l'axe d'articulation (le goujon) varie dans chaque modèle pour conserver à l'arc décrit par le levier de manœuvre une longueur à peu près constante; par conséquent, si le nombre des clavettes et des orifices est augmenté, les intervalles des axes peuvent être diminués et la puissance de l'appareil devient plus grande.

Dans le premier changement du levier de manœuvre le goujon est placé dans le trou le plus éloigné du galet dont la position est calculée de telle sorte qu'à chaque mouvement du bras l'écrou tourne sur un développement égal à 1/28 de sa circonférence.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsque la pression devient trop pénible, on place le goujon dans le trou le plus rapproché du galet au levier multiplicateur, la puissance de la pression atteint alors son maximum; dans ce dernier cas, chaque évolution du levier multiplicateur fait décrire à l'écrou un arc de 1/56 de sa circonférence.

La pression étant achevée, on change les clavettes de sens et on procède au desserrage qui s'opère sans difficulté.

Ces presses, bien que n'ayant qu'un levier de manœuvre très court, produisent des pressions très énergiques qui peuvent atteindre de 150 à 180 kilogrammes par centimètre carré avec un effort de 30 kilogrammes seulement à l'extrémité du levier.

Les presses exposées par M. Duchscher sont très bien appropriées aux usages de la pharmacie et des laboratoires; le mode d'action de la force motrice sur le levier différentiel est réalisé à l'aide d'organes simples, solides et bien appropriés au travail.

Ces presses sont construites en France par la maison Morane jeune, qui a une licence du brevet, et qui avait fait figurer dans son exposition quelques spécimens bien exécutés.

Hydro-extracteur Broadbent (médaille d'argent). — MM. Thomas Broadbent and Sons, de Huddersfield (Angleterre), avaient exposé dans la section anglaise une essoreuse de grande dimension (1 m. 50 de diamètre au panier) actionnée directement par un moteur fixé à la partie inférieure de son socle. Tous les organes moteurs sont renfermés dans ce socle et se trouvent parfaitement garantis. Un système de graissage dont l'orifice vient aboutir dans l'axe du panier permet de lubrifier amplement et sans pertes toutes les parties en mouvement. Le panier de cette essoreuse tourne avec une vitesse de 700 tours par minute, le diamètre du cylindre de vapeur est de 152 millimètres et la course du piston est de 177 millim. 5.

Deux freins puissants permettent d'arrêter la machine presque instantanément. Outre l'agencement spécial des organes moteurs qui est très bien compris, l'appareil présente cet avantage qu'il ne nécessite aucune fondation. L'enveloppe en fonte de l'essoreuse repose, par l'intermédiaire de trois tiges à tête sphérique, sur trois colonnes en fonte boulonnées sur un châssis en bois simplement posé sur des petits murs en brique de 0 m. 22 d'épaisseur.

Toutes les oscillations et les vibrations produites par la marche de l'appareil se trouvent ainsi amorties, et comme le moteur fait corps avec l'essoreuse aucun grippement ou aucune distorsion des organes n'est à redouter.

Les appareils de MM. Thomas Broadbent and Sons sont bien construits, ils sont très appréciés en Angleterre; plusieurs usines de produits chimiques et de grandes teintureries les emploient exclusivement.

Divers spécimens de la dimension de l'appareil exposé fonctionnent en France et donnent des résultats très satisfaisants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces essoreuses se construisent sur six types différents; voici les dimensions adoptées par les constructeurs :

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU PANIER.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE À VAPEUR.	LONGUEUR DE COURSE DU PISTON.
mètres.	millimètres.	millimètres.
0.760	101.6	108.0
0.910	127.0	108.0
1.060	127.0	152.4
1.210	133.4	152.4
1.360	139.7	177.8
1.520	152.4	177.8

La vitesse varie avec le diamètre du panier; pour les petits appareils elle peut être portée sans inconvénient à 1,200 tours par minute.

La maison a construit à ce jour plus de 1,200 de ces appareils.

MM. Conteneau et Godart fils (médaille d'argent). — Tous les objets présentés par cette maison témoignaient une fabrication excessivement soignée. L'appareil Moissan pour la préparation du fluor était un véritable travail de précision dont les pièces sont réunies par la soudure autogène; les alambics, bouilloirs, coffrets, nacelles, capsules, creusets, etc., entièrement repoussés au marteau, présentaient une grande pureté de formes et montraient une grande habileté de main.

Cette maison a fait des progrès très sensibles depuis la dernière Exposition.

The Continental oxygen Company (médaille d'argent). — Il y a trente ans environ, Boussingault a montré qu'il est possible d'extraire l'oxygène de l'air atmosphérique à l'aide de la baryte. Cet élégant procédé, basé sur la transformation de la baryte en bioxyde de barium, puis sur la désoxydation du bioxyde formé, avec régénération de la baryte, n'a pas cependant reçu d'applications industrielles importantes parce que, au bout d'un temps relativement assez court, la baryte perdait la propriété de se peroxyder et que par suite le prix de revient de l'oxygène était beaucoup trop élevé.

MM. Brin frères, dont la *Continental oxygen Company* est la concessionnaire, ont apporté au procédé de Boussingault divers perfectionnements qui en ont rendu la réalisation industrielle pratique et économique.

MM. Brin ont constaté qu'en peroxydant la baryte sous une faible pression et en la désoxydant dans le vide on pouvait réduire la différence de degré de température nécessaire à ces deux opérations (Boussingault peroxydait à 530 degrés et désoxydait à 925 degrés) et éviter ainsi la chaleur élevée que l'on croyait nécessaire et qui produit sur ce corps des effets si nuisibles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Leurs premiers essais furent faits de cette manière, mais on s'aperçut bientôt qu'il fallait simplifier le procédé si l'on voulait obtenir de l'oxygène à un prix qui put en permettre l'emploi industriel. De nouveaux essais furent tentés et amenèrent à constater que les deux opérations, oxydation et réduction, pouvaient être faites à la même température. Ce résultat est capital, car il supprime la destruction rapide des cornues et des fourneaux due aux dilatations et aux contractions continuelles, en même temps qu'il économise le temps et le combustible et permet de rendre la manœuvre automatique.

De plus, à l'aide d'un tour de main, tenu secret, la baryte est produite dans un état de compacité très grande, tout en conservant cependant une porosité suffisante, en sorte qu'elle peut rester très longtemps en service sans se désagréger.

Les cornues employées dans cette fabrication sont en acier; elles ont 2 m. 75 de longueur, 0 m. 17 de diamètre extérieur et 0 m. 012 d'épaisseur.

Chaque four renferme douze de ces cornues. L'ensemble du système contient 950 kilogrammes de baryte.

Les cornues disposées verticalement sont placées dans un four chauffé par un générateur automatique d'oxyde de carbone. Les arrivées de gaz dans le four sont ménagées de manière à produire un chauffage uniforme des cornues, et des obturateurs en argile, qui peuvent être déplacés à volonté, permettent d'entretenir dans le four une température comprise entre 730 à 780 degrés centigrades. La fabrication industrielle comprend deux fours accolés de manière à pouvoir opérer la peroxydation dans l'un pendant que l'on désoxyde dans l'autre.

Les cornues sont supportées par une traverse en fonte à travers laquelle elles passent et qui est garantie de l'action du feu par des pièces réfractaires. Une semblable traverse se trouve au bas du four et maintient ces cornues. Afin de permettre le jeu des dilatations les cornues passent à travers un joint d'amiante.

Les collets et les fermetures des cornues sont en fonte et leur joint est obtenu en terminant les extrémités des cornues par une surface demi-ronde qui entre à frottement dans une gorge creusée dans les fermetures et en plaçant une bague de cuivre rouge entre les deux parties.

Les tuyaux courbés reliant la partie inférieure des cornues entre elles, ainsi que ceux qui servent de communication entre les cornues et les tuyaux principaux en fonte, sont en acier et reliés ensemble au moyen de joints coniques.

Un plateau en fonte perforée est placé à la partie inférieure de chaque cornue pour soutenir la baryte et éviter les obstructions.

On peut atteindre tous les joints situés à la partie inférieure des cornues en passant par le cendrier du générateur d'oxyde de carbone.

Il est de la dernière importance d'opérer avec de l'air parfaitement sec et débarrassé d'acide carbonique. A cet effet, on oblige l'air à traverser des épurateurs contenant les uns de la chaux, les autres de la soude caustique en morceaux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les épurateurs à chaux sont au nombre de deux; ils sont constitués par deux chambres en fonte accouplées, de 2 m. c. 70 de contenance chaque, remplies de chaux vive en morceaux jusqu'à moitié de leur capacité.

Les épurateurs à soude sont au nombre de deux également; leur capacité n'est que d'un demi-mètre cube; ils sont remplis de soude caustique en morceaux. Un robinet placé à la partie inférieure de chacun d'eux permet d'extraire la lessive produite.

Ces appareils sont reliés entre eux par des tubes en fer, de telle façon que l'air refoulé par la pompe passe à travers l'une ou les deux caisses à chaux et seulement à travers l'une des caisses à soude.

Lorsque la chaux du premier épurateur commence à se déliter et offre une résistance trop grande au passage de l'air on enlève cet épurateur du circuit et on le recharge; pendant ce temps le second épurateur fonctionne avec l'épurateur à la soude et lorsqu'on remet en marche la caisse fraîchement remplie, on renverse le mouvement de manière qu'elle se trouve la seconde.

En traversant ce système l'air cède à la chaux et à la soude la totalité de son eau et de son acide carbonique, ainsi que l'huile entraînée mécaniquement hors de la pompe, puis pénètre directement dans les cornues.

Une tonne de chaux peut suffire à épurer 85,000 mètres cubes d'air; pratiquement cependant on s'arrête avant, parce que la chaux délitée offre trop de résistance au passage de l'air.

La soude caustique ne sert que pour compléter la dessiccation et la décarbonatation; elle ne s'use que fort peu.

La chaux éteinte peut être utilisée à la confection des mortiers de construction ou dans les épurateurs des usines à gaz.

Quant à la lessive de soude, elle se revend à moitié du prix d'achat de la soude caustique solide. Les frais d'épuration sont donc presque nuls.

Chaque système de cornues est mis en relation avec une pompe qui permet à volonté d'y comprimer de l'air sous une pression de 0 m. 50 de mercure ou d'y faire un vide de 0 m. 72.

Lorsque les cornues se trouvent chauffées au degré convenable, on y refoule l'air atmosphérique : l'oxygène est rapidement absorbé par la baryte et l'azote résidu s'échappe par une soupape placée à l'extrémité du système de cornues. Lorsque la baryte est complètement oxydée (au bout de 7 minutes et demie environ), ce dont on s'assure en examinant le gaz qui s'échappe à la sortie de la soupape, lequel n'éteint plus les corps en combustion, à l'aide d'un jeu de robinets on interrompt la communication avec la pompe de compression et immédiatement on fait le vide. L'air extrait des cornues est rejeté dans l'atmosphère; il ne contient que fort peu d'oxygène, car, à la température à laquelle on opère, le dégagement de ce gaz ne commence à se produire que lorsque le vide atteint 0 m. 65.

Lorsque la dépression convenable est atteinte, l'oxygène aspiré est refoulé dans un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gazomètre où il est emmagasiné. Le temps nécessaire à la désoxydation étant sensiblement égal à celui de la peroxydation, il en résulte que lorsque tout l'oxygène s'est dégagé, le second four est peroxydé et prêt à être mis en communication avec la pompe à vide. Une nouvelle manœuvre de robinets renverse le jeu de la pompe et comprime de nouveau l'air dans le four où la désoxydation vient de se produire tandis que le vide se fait dans le four peroxydé. De cette façon l'opération est continue et, si l'on a soin de maintenir uniforme l'allure du gazogène, on peut recueillir à chaque opération le maximum d'oxygène que la baryte est susceptible d'emmagasiner et de restituer.

Dans les nouveaux fours construits par la Compagnie, la manœuvre des robinets est accomplie automatiquement en sorte que l'ouvrier n'a d'autre occupation que celle de régler la température des fours par le jeu des valves d'arrivée des gaz du siemens et la manœuvre des registres des chambres.

L'appareil automatique de changement de marche est construit d'une façon très ingénieuse : il consiste en quatre robinets fixés sur une table et engrenés avec deux pistons au moyen desquels ils sont mis en mouvement. La vapeur pénètre dans les cylindres où fonctionnent les pistons, au moyen de clapets pouvant s'ouvrir à volonté, grâce à des cames qui y sont fixées. La pompe à air, par l'intermédiaire de roues dentées, actionne l'arbre des cames.

Ces robinets sont à trois voies; trois d'entre eux peuvent être renversés par le jeu de l'un des pistons, l'autre est actionné par le second piston. Une pièce spéciale, placée sur le tuyau de sortie des gaz du four, sert à mettre tout ce mécanisme en mouvement. Elle comprend un clapet automatique à double action et une boîte à clapet à double distribution. Ces clapets sont fixés sur le même arbre de telle façon que lorsque l'un d'eux n'est pas sur son siège l'autre au contraire repose sur le sien. Ils sont mis en mouvement par un diaphragme en acier plissé sur lequel s'exerce tantôt le vide et tantôt la pression, suivant la position des trois robinets accouplés dont il a été question plus haut. La boîte à clapet possède une disposition permettant de changer périodiquement la direction de l'air dans les cornues afin de diminuer la tendance que présente la baryte à s'agglomérer lorsque l'air circule toujours dans la même direction.

L'air atmosphérique, refoulé par la pompe, passe par l'un des trois robinets accouplés, va aux épurateurs, repasse par le second robinet du système et se trouve dirigé par le troisième robinet dans le clapet automatique où la pression exercée sur le diaphragme force la soupape du bas à se fermer et celle du haut à s'ouvrir. L'air ne pouvant ainsi s'échapper par cette soupape pénètre dans le distributeur et est amené dans les cornues. L'oxygène s'absorbe et l'azote, à sa sortie des cornues, pénètre de nouveau dans la chambre supérieure du distributeur où elle rencontre le clapet ouvert et s'échappe dans l'atmosphère. Quand la période d'oxydation a continué pendant le temps prévu, la came de changement de marche soulève une soupape de retenue qui laisse entrer la vapeur dans le cylindre actionnant le groupe des trois robinets, en sorte que ces trois robinets sont renversés. En même temps le robinet isolé est ouvert par son cylindre à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vapeur et met les cornues en communication avec la pompe aspirante ; le vide se fait dans les cornues et, agissant sur le diaphragme des clapets automatiques, renverse la position de ces clapets, fermant le haut, ouvrant le bas, interceptant ainsi toute communication avec l'atmosphère et ouvrant la communication avec les cornues.

L'oxygène pur n'étant obtenu qu'avec un vide de 0 m. 65, il faut se débarrasser du gaz libéré avant que ce vide ne soit atteint. A cet effet, le robinet unique actionné par le cylindre à vapeur laisse un de ses orifices en communication avec l'atmosphère pendant un temps réglé d'avance, puis au moment voulu une came fait fonctionner le piston, l'orifice de sortie se ferme et l'oxygène est dirigé vers le gazomètre.

Lorsque la désoxydation de la baryte a continué pendant un laps de temps déterminé à l'avance, l'appareil automatique renverse les robinets et le cycle des opérations recommence.

Une soupape de sûreté est placée sur le tuyau de décharge, entre la pompe et l'appareil automatique, de manière à empêcher tout excès de pression sur la pompe pendant le renversement de l'opération.

Grâce à l'emploi du distributeur automatique, on peut arriver à produire de l'oxygène à un degré de pureté de 97 à 98 p. 100, qu'il était impossible d'atteindre avec les appareils manœuvrés à la main, car pour peu qu'un ouvrier fût négligent il pouvait laisser une certaine quantité d'air pénétrer dans le gazomètre.

La baryte n'est extraite des cornues que tous les trois ou quatre mois; on sépare par tamisage la poussière qui a pu se produire, les morceaux intacts rentrent en fabrication en sorte qu'on a que fort peu de baryte neuve à ajouter.

Le prix de revient de l'oxygène varie suivant les conditions économiques des usines qui le produisent : dans les usines montées spécialement pour la fabrication de l'oxygène, le prix du mètre cube peut être estimé à 0 fr. 33, tandis que le prix de revient peut descendre à 0 fr. 15 dans les usines à gaz. Cette différence s'explique d'une part par l'utilisation dans l'usine de la chaux des épurateurs, d'autre part et surtout parce que les frais généraux applicables à la production de l'oxygène sont réduits au minimum.

Lorsque l'oxygène n'est pas utilisé dans l'usine même qui le produit, on le comprime dans des cylindres pour pouvoir en opérer facilement le transport.

Ces cylindres sont de contenances diverses (de 0 m. c. 85 à 6 m. c. 5); ils sont en acier forgé et peuvent résister à une pression minima de 120 atmosphères. Ils sont munis d'un robinet à vis sur lequel peut s'adapter un régulateur permettant d'en extraire le gaz sous la pression que l'on désire, cette pression restant constante pendant tout le temps du débit.

Les compresseurs à gaz sont du type à trois corps de pompe : le premier cylindre est à double action, le second et le troisième sont à simple effet. Ils sont actionnés par une machine de 10 chevaux.

Les applications industrielles de l'oxygène sont encore assez limitées; l'industrie n'a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas encore appris à se servir de ce nouveau et puissant réactif, mais il est à prévoir qu'avant peu de temps on l'utilisera sur une large échelle.

Parmi les applications actuellement réalisées, on peut citer les suivantes :

Épuration du gaz d'éclairage. — L'oxygène employé concurremment avec la chaux ou l'oxyde de fer favorise considérablement l'épuration du gaz de houille; des expériences faites par M. Valon [1] établissent que, lorsqu'on emploie l'oxyde de fer seul, l'addition d'une petite quantité d'oxygène (0.6 p. 100) au gaz brut produit la revivification de l'oxyde dans les épurateurs mêmes; en outre, celui-ci reste actif beaucoup plus longtemps.

Les avantages de l'emploi de l'oxygène sont encore plus frappants lorsqu'on emploie la chaux; dans ces conditions l'acide carbonique et les composés sulfurés sont complètement éliminés.

L'emploi de l'oxygène permet de diminuer considérablement le volume des épurateurs, il procure une économie sur les réactifs et sur la main-d'œuvre et rend l'épuration plus complète et plus facile à surveiller.

En même temps que ces résultats sont obtenus, on arrive à une augmentation sensible dans le pouvoir éclairant du gaz.

M. Valon indique que l'on peut ainsi réaliser une économie de 160 francs par million de pieds cubes de gaz et l'auteur conclut en recommandant ce système d'épuration.

Fusion des minerais difficiles à traiter et soudure des métaux. — M. Th. Pletcher a récemment construit des chalumeaux qui procurent instantanément des températures extrêmement élevées.

Dans ces nouveaux chalumeaux, la lance centrale, au lieu d'être formée d'un simple trou, est plate à son extrémité et percée d'un cercle de trous juste assez grands pour laisser passer chacun de 85 à 115 litres par heure d'oxygène comprimé à haute pression. La sortie du gaz, qui entoure cette lance, est un espace annulaire d'environ 3 millimètres de largeur; le bord qui la limite extérieurement doit dépasser de 9 millimètres l'orifice plat de la lance.

Le plus petit de ces chalumeaux peut fondre l'extrémité d'une barre de fer de 5 millimètres carrés de section; le numéro au-dessus fond une barre de 12 millimètres; on peut braser un tuyau de cuivre de 3 millimètres d'épaisseur presque aussi vite qu'un étameur pourrait souder une feuille de fer-blanc; le plus grand peut percer un trou de 10 centimètres dans une épaisse plaque de fer et braser ou même fondre de fortes brides ou des manchons sur des pièces de mêmes dimensions.

A l'aide de ces chalumeaux on peut réparer en quelques minutes et remettre en usage des tuyaux de cuivre ou des chaudières endommagées, là où, avec les moyens

[1] *The Gas World* (1889), p. 715; *Journal of chemical industry*, 1889, p. 694.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ordinaires, il eût fallu un arrêt de plusieurs jours ; ces instruments peuvent donc rendre de réels services dans l'industrie.

L'oxygène est utilisé également pour la fusion du platine, pour la production de la lumière oxyhydrique. pour le soufflage du verre, — particulièrement du cristal — pour la fabrication du vinaigre, la cuisson et l'épaississage des huiles destinées à la fabrication des vernis et du linoléum.

On l'utilise, paraît-il, avec avantage, conjointement avec le chlorure de chaux, dans les blanchisseries; enfin il sert à l'amélioration des eaux-de-vie dont il opère rapidement le vieillissement.

La médecine emploie aujourd'hui l'oxygène soit sous forme d'inhalation, soit sous forme de boisson gazeuse ; pour cet usage spécial, l'oxygène extrait de l'air atmosphérique convient mieux que celui préparé habituellement dans les laboratoires à l'aide du chlorate de potasse, parce que ce dernier contient souvent des produits chlorés irritants dont le premier est toujours complètement exempt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IV

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE LA STÉARINERIE ET DE LA SAVONNERIE.

Nombre des exposants : 13.

Français	10
Brésiliens	1
Grecs	1
Anglais	1

HORS CONCOURS.

MM. Léon Droux, membre suppléant du jury de la classe 51.
Alfredo Michel, membre du jury de la classe 63.

GRAND PRIX.

M. Morane jeune	France

MÉDAILLES D'OR.

MM. Morane aîné	France.
Pardailhé-Galabrun	France.
Stéarinerie française	France.
Behier frères	France.

Médailles	d'argent	3
	de bronze	2

M. Droux (Léon), *membre suppléant du jury* (hors concours), a exposé un grand appareil à saponifier les corps gras ainsi que les plans d'usines montées pour l'extraction — par ses procédés — de la glycérine contenue dans les lessives des savonneries.

1° *Appareil à saponifier.* — Le dédoublement des corps gras neutres en acides gras et en glycérine, opéré soit à l'aide des alcalis, soit par l'eau seule, nécessite l'emploi d'appareils autoclaves susceptibles de résister à une pression de 15 à 20 atmo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sphères. Presque tous les constructeurs ont adopté pour ces autoclaves la forme d'un cylindre terminé par deux calottes sphériques. M. L. Droux estimant que cette forme n'est pas appropriée, qu'elle ne donne que des vases éminemment déformables et, par suite, d'un emploi excessivement dangereux, a proposé de leur donner la forme d'une sphère parfaite, dont chaque point de la surface travaille avec le même effort.

Les derniers modèles construits par M. Droux se composent de deux coupoles hémisphériques embouties d'un seul morceau de cuivre rouge et assemblées à doubles rivures par deux larges bandes de cuivre, placées l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur de l'appareil.

La sphère ainsi constituée repose sur un socle en fonte. Elle est traversée, suivant un diamètre, par un arbre en cuivre passant par deux stuffing-box et armé de trois bras en bronze recevant chacun trois godets percés de trous.

Pendant toute la durée de la saponification, ces godets vont puiser l'eau accumulée à la partie inférieure de la sphère pour la déverser en pluie sur la matière en traitement, condition indispensable pour la bonne marche de l'opération.

Des robinets, munis de clapets, servent à l'introduction de la vapeur comme à la sortie des matières décomposées.

Plus de cinquante de ces appareils ont été construits et fonctionnaient au moment de l'Exposition sans qu'aucun accident eût été relevé; ce fait est intéressant à retenir, car il est malheureusement patent que les autoclaves cylindriques ont été trop souvent la cause d'accidents suivis de morts d'hommes et d'incendies.

Fabrication de la glycérine. — La glycérine n'a pris d'importance au point de vue industriel que depuis que les progrès de l'industrie stéarique ont permis d'en produire de notables quantités.

La découverte de la nitroglycérine et celle de la dynamite ont contribué dans une large mesure à accroître la consommation de la glycérine et c'est, maintenant, à plus de 20 millions de kilogrammes pour l'Europe, et à plus de 6 millions de kilogrammes pour l'Amérique, qu'il faut évaluer la production annuelle de la glycérine extraite des eaux de stéarinerie.

Dans ces dernières années, une nouvelle source de glycérine est venue augmenter encore l'importance de la production : c'est l'extraction de la glycérine des lessives de savonneries.

Cette nouvelle source fournit annuellement 6 à 8 millions de kilogrammes pour l'Europe et 5 à 6 millions de kilogrammes pour l'Amérique du Nord, en sorte que l'on peut évaluer la production totale de la glycérine à environ 40 millions de kilogrammes et il est à prévoir que cette production ira toujours en augmentant.

Glycérine de stéarinerie. — L'extraction est des plus simples; il suffit d'évaporer les eaux provenant des saponifications alcalines ou des décompositions aqueuses.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la plupart des usines, ces eaux sont préalablement débarrassées des sels calcaires qu'elles renferment, par le fait même de la fabrication, ainsi que des impuretés qu'elles ont pu entraîner.

Dans les rares usines qui travaillent encore par la saponification sulfurique seule, les eaux acides renfermant la glycérine sont saturées par la chaux avant évaporation, mais les glycérines qu'on en retire sont toujours souillées de matières étrangères qu'on ne peut éliminer économiquement, en sorte qu'elles sont très sensiblement dépréciées sur le marché.

Les procédés d'évaporation des eaux glycérineuses ont varié : on a d'abord évaporé à feu nu, puis avec des serpentins de vapeur et, enfin, avec des appareils travaillant dans le vide, analogues à ceux employés dans les sucreries.

Tous ces appareils laissaient perdre, pendant l'évaporation, de notables proportions de glycérine.

Les appareils les plus en usage aujourd'hui sont ceux qui évaporent les eaux à basse température en les présentant en couches minces au contact de l'air sur des surfaces convenablement chauffées et constamment renouvelées.

Ces appareils utilisent les vapeurs perdues de l'usine, principalement l'échappement des machines motrices.

M. L. Droux a imaginé deux appareils de ce système, constitués, l'un par un serpentin, l'autre par un cylindre à ailettes tournant horizontalement dans une auge renfermant le liquide à concentrer.

La perte de glycérine, dans ces conditions, est réduite à son minimum: aussi, quand la saponification est bien faite, peut-on obtenir jusqu'à 10.5 p. 100 de glycérine à 28 degrés Baumé.

Glycérine des lessives de savonneries. — Jusqu'en 1880, on a laissé perdre la glycérine provenant de la fabrication des savons; on avait bien tenté, à la vérité, de recueillir la glycérine en opérant la saponification des corps gras par l'eau pure, l'oxyde de zinc, les sels de magnésie, mais la fabrication des savons au moyen des acides gras ainsi produits ne pouvait s'appliquer qu'aux graisses animales ou aux huiles de palme.

Les divers essais tentés à Marseille, en Angleterre, aux États-Unis, sur des matières grasses végétales et, notamment, sur les huiles de sésame, d'arachide, de palmiste et d'olive, n'avaient donné que de mauvais résultats en raison de la coloration foncée communiquée aux acides gras formés et, par suite, de la teinte terreuse qu'affectaient les savons.

De plus, ainsi que MM. Arnavon et L. Droux l'ont constaté, la présence de la glycérine pendant l'acte de la saponification paraît indispensable à la formation d'un bon savon.

Pour toutes ces raisons, le traitement des corps gras neutres consistant à isoler d'abord les acides gras pour les transformer ultérieurement en savons a dû être aban-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

donné et l'on a été amené à rechercher les procédés permettant d'extraire la glycérine des lessives épuisées dans lesquelles elle vient en dernière analyse s'accumuler.

Les lessives les plus riches en glycérine sont celles de relargage, c'est-à-dire celles séparées après l'empâtage, mais comme la séparation des lessives ne peut être obtenue que par une addition convenable de sel marin, la liqueur se trouve de ce chef contenir une forte quantité de sel qui en augmente le volume et la densité.

Certains fabricants de savon, notamment ceux de Marseille, ont l'habitude d'établir dans leur travail un roulement de lessives soumises à plusieurs filtrations sur des alcalis plus ou moins épuisés; cette pratique amène la destruction d'une partie de la glycérine avec formation de produits de décomposition qui se logent dans le liquide.

Enfin, dans les grandes savonneries, à Marseille et en Angleterre, l'alcali employé est la soude brute sulfureuse ou soude noire, telle qu'elle sort du four à réverbère après la décomposition du sulfate de soude par le charbon. Les produits sulfureux viennent s'ajouter aux diverses impuretés existant déjà et leur présence rend particulièrement difficile l'extraction ultérieure de la glycérine.

Dans tous les cas où le savonnier emploie le carbonate de soude ou la soude caustique, une partie des difficultés disparaissent; les lessives sont relativement assez pures, mais, malheureusement, les usines qui travaillent de la sorte n'ont qu'une minime production, sont disséminées un peu partout, en sorte qu'il est presque impossible de recueillir économiquement les lessives qu'elles produisent.

En thèse générale, on peut admettre que les vieilles lessives des savonneries de Marseille présentent la composition moyenne suivante :

Soude caustique	1	à	2
Carbonate de soude	2	à	3
Sulfure de sodium	1	à	2
Chlorure de sodium	8	à	10
Sulfate de soude	3	à	4
Hyposulfite de soude	2	à	4
Matières organiques gélatineuses	6	à	8
Glycérine anhydre	4	à	5
Eau	73	à	62
TOTAL	100	à	100

Plusieurs procédés ont été préconisés pour extraire la glycérine de ce mélange complexe.

Le premier résultat à obtenir est de se débarrasser des alcalis libres par une saturation à l'acide sulfurique ou chlorhydrique, opération qui commence en même temps l'attaque des sulfites et des hyposulfites existant primitivement dans la liqueur ou engendrés pendant la saturation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pendant cette saturation il se produit un fort dégagement d'acide carbonique et de gaz sulfureux en même temps qu'il y a formation de dépôts salins et boueux.

Le liquide, convenablement décanté et filtré, est ensuite soumis à l'évaporation. Les bassines à feu nu ont été abandonnées en raison des dépôts salins; il en est de même de l'emploi des fours Porion, car la haute température développée détruit une très forte quantité de glycérine.

Les appareils les plus avantageux à employer sont ceux du type par évaporation en couches minces précédemment décrits, mais dont on augmente autant que possible la puissance de production.

Les sels qui se déposent en grandes quantités à la surface de ces appareils pendant le travail sont détachés, tombent dans le bas de l'auge où ils sont ultérieurement recueillis.

Dans le plan d'usine exposé par M. Droux (Compagnie générale des glycérines, usine de Marseille), figuraient 12 cylindres de 2 m. 50 de long sur 0 m. 80 de diamètre; ces appareils suffisent à l'évaporation de plus de 50,000 litres d'eau par vingt-quatre heures.

Une succession d'évaporations méthodiques amène la liqueur à une densité d'environ 1.260, correspondant à 30 degrés Baumé.

On l'abandonne alors au repos, une grande partie des chlorures et des sulfates se cristallisent par refroidissement; mais, malgré cette élimination, elle contient encore une telle proportion de sulfures à divers états et de sels que l'extraction directe de la glycérine en est impossible.

La désulfuration à peu près complète de cette liqueur sirupeuse a été une des difficultés les plus sérieuses de cette fabrication; plusieurs méthodes ont été employées. M. L. Droux a recours à une oxydation par l'acide sulfurique favorisée par un courant d'air chaud très énergique.

Quel que soit le mode de désulfuration adopté, on concentre le liquide à 35 ou 36 degrés Baumé et l'on obtient un liquide fortement coloré, contenant encore un mélange de divers sels, mais très riche en glycérine, car on peut arriver à en extraire jusqu'à 80 p. 100 de glycérine anhydre.

Divers procédés peuvent être utilisés pour arriver à l'extraction de la glycérine : la distillation simple ou la distillation dans le vide; la distillation à haute température d'un liquide aussi complexe présente d'assez sérieuses difficultés et amène la destruction d'une partie de la glycérine dont les produits d'altération viennent souiller le produit recueilli à la première distillation; il devient forcément nécessaire de procéder à une seconde distillation.

MM. L. Droux et Depouilly ont donné au problème une solution très élégante; la méthode qu'ils ont imaginée est une application heureuse des synthèses indiquées par M. Berthelot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ils combinent la glycérine avec un acide capable de former des glycérides insolubles dans l'eau, régénèrent en un mot un corps gras neutre; puis, cette première partie de l'opération étant faite, ils isolent les sels et les substances étrangères par des lavages à l'eau bouillante, puis finalement soumettent à la saponification le glycéride purifié, ce qui, d'une part, isole la glycérine et, d'autre part, régénère l'acide qui peut dès lors rentrer en fabrication.

Voici comment cette opération est réalisée industriellement :

La lessive salée à 36 degrés Baumé, contenant environ 80 p. 100 de glycérine, est mélangée avec de l'acide oléique du commerce dans la proportion d'une partie de glycérine brute pour quatre parties d'acide oléique; puis le mélange est introduit dans un cylindre en fonte à enveloppe de vapeur, placé horizontalement sur un foyer; un agitateur mécanique brasse énergiquement la masse pendant qu'on la maintient à une température de 170 à 175 degrés centigrades.

L'eau contenue dans la matière commence par se dégager, puis la combinaison entre l'acide oléique et la glycérine s'effectue en donnant naissance à une nouvelle portion d'eau qui s'évapore à son tour. Lorsque le dégagement de l'eau cesse (au bout de douze à quinze heures), l'opération peut être considérée comme terminée.

Afin d'éviter l'altération des matières, on a soin de faire continuellement traverser l'appareil par un courant d'acide carbonique, lequel entraîne mécaniquement l'eau engendrée par la réaction.

La combinaison étant achevée, le corps gras neutre (mélange de monooléine, de dioléine et de trioléine) renfermant jusqu'à 20 p. 100 de son poids de glycérine est lavé à l'eau bouillante, puis il est saponifié dans les mêmes appareils que ceux en usage dans l'industrie stéarique, en faisant usage des mêmes agents chimiques, eau, chaux, magnésie, etc.

La glycérine obtenue est ensuite concentrée suivant la méthode ordinaire.

Le procédé L. Droux et Depouilly présente le grand avantage de permettre d'extraire de la glycérine presque pure d'un mélange renfermant une foule de substances étrangères d'une élimination très difficile; la seule précaution à observer consiste à ne laisser dans la lessive aucune trace de soufre ou de produits sulfurés pouvant se combiner avec l'acide oléique.

Parmi les plans d'installation d'usine exposés par M. Droux, figurait l'agencement d'un alambic à distiller la glycérine dans le vide, exécuté suivant les données d'un brevet pris par cet ingénieur.

L'appareil comprend :

Un vase distillatoire à parois épaisses entouré d'une double enveloppe de vapeur surchauffée et placé sur un fourneau à retour de flammes; un surchauffeur de vapeur placé côte à côte avec le vase distillatoire donnant un courant de vapeur surchauffée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les vapeurs entraînées par ce courant vont se condenser dans une série de cylindres verticaux en cuivre rouge, communiquant entre eux au moyen de tubes recourbés.

A la suite de ces cylindres, dans lesquels la condensation ne s'opère que par le refroidissement de l'air, se trouve un serpentin ordinaire noyé dans l'eau, destiné à condenser les derniers produits utiles, puis un condenseur à injection d'eau froide analogue aux condenseurs des appareils à cuire des sucreries, et enfin une pompe à air à double effet.

Cette pompe aspire et refoule constamment l'eau injectée dans le condenseur ainsi que celle provenant de la condensation de la vapeur surchauffée introduite dans la chaudière.

La glycérine condensée dans les cylindres en cuivre ne pourrait en être soutirée par simple écoulement; pour pouvoir l'extraire sans rentrée d'air dans l'appareil, les cylindres sont mis en relation par une série de robinets et de tuyaux avec des récepteurs inférieurs dans lesquels vient s'accumuler la glycérine condensée. Environ chaque demi-heure on interrompt la communication entre les condenseurs et les récepteurs, on laisse rentrer l'air dans ces derniers d'où l'on extrait la glycérine par simple écoulement.

Le premier cylindre fournit des glycérines toujours moins pures; dans les trois cylindres suivants, on recueille des glycérines d'une densité comprise entre 1.260 et 1.263; dans le cinquième, la densité redescend entre 1.250 et 1.260; dans le sixième et dernier, la densité touche à 1.230, et enfin les produits condensés dans le serpentin noyé dans l'eau ne sont plus que des petites eaux glycérineuses qui rentrent en traitement.

Ces différences de densité s'expliquent par les différences de température régnant dans les condenseurs; c'est ainsi que la condensation s'opère à :

160 à 170 degrés, dans le premier condenseur.
140 à 150 degrés, dans le second condenseur.
125 à 135 degrés, dans le troisième condenseur.
115 à 120 degrés, dans le quatrième condenseur.
100 à 105 degrés, dans le cinquième condenseur.
90 à 95 degrés, dans le sixième condenseur.

Et enfin à la température de l'eau froide (10 à 30 degrés) dans le serpentin réfrigérant.

On comprend que, dans ces conditions, toute la vapeur d'eau comme tous les produits volatils se trouvent aspirés par la pompe à vide et que la condensation ne fournisse que des produits purs et à haute densité.

En pratique, 100 kilogrammes de lessive désulfurée concentrée à 36 degrés Baumé fournissent environ 65 à 70 kilogrammes de glycérine à 30 degrés Baumé, et 100 kilo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grammes de glycérine commerciale de stéarinerie à 28 degrés donnent 80 à 85 kilogrammes de glycérine à 30 degrés (densité 1.260) dite *glycérine pour dynamite*. Dans ce dernier cas, il y a, indépendamment des pertes ordinaires, une perte de 9 p. 100 correspondant à la différence de densité qui se trouve portée de 28 degrés pour la glycérine brute à 30 degrés pour la glycérine distillée.

Une distillation bien conduite suffit pour donner une glycérine renfermant moins de 1 p. 100 d'impuretés.

Cette glycérine convient parfaitement pour la fabrication de la dynamite, mais elle n'est pas assez pure pour les usages de la pharmacie. On lui fait ordinairement subir une seconde distillation et une décoloration au noir animal. Le noir animal doit être soigneusement lavé, c'est-à-dire débarrassé avec le plus grand soin de ses sels de chaux, car la glycérine dissolvant rapidement toutes les impuretés du noir deviendrait bientôt plus impure qu'avant la distillation.

Au lieu de noir d'os, il est préférable de faire usage de noir fabriqué par la calcination du sang.

Actuellement il n'y a pas un tiers des savonneries qui recueillent leurs vieilles lessives en vue de l'extraction de la glycérine, mais il est à prévoir que ces procédés d'extraction se généraliseront et que dans un avenir prochain l'industrie trouvera là une source considérable de glycérine.

Déjà les savonneries de Marseille commencent à faire un choix judicieux de leurs lessives et mettent à part leurs lessives d'empâtage, les seules qui soient riches en glycérine et qui soient susceptibles d'un traitement véritablement pratique et économique.

M. Droux exposait aussi un appareil, breveté par lui en 1884, destiné à la saponification des corps gras neutres dans les savonneries. Cet appareil comprend une série de cônes métalliques concentriques dans lesquels un courant de vapeur à haute pression aspire la matière grasse neutre et la projette, mélangée intimement à la vapeur, sur une plaque métallique où elle se trouve divisée à l'infini.

L'ensemble est renfermé dans un vase clos maintenu sous pression de vapeur de 10 à 12 kilogrammes correspondant à la température nécessaire à la séparation de la glycérine.

Dans cet appareil, la saponification des corps gras neutres n'est pas complète, mais la transformation est assez avancée pour que l'extraction de la glycérine des eaux condensées puisse s'opérer avec profit, étant donné d'ailleurs que cette glycérine ne se trouve mélangée avec aucun alcali ou aucun sel, comme dans la saponification ordinaire par les alcalis et qu'il suffit d'une simple évaporation pour l'obtenir sous sa forme commerciale.

Le jury a examiné avec beaucoup d'intérêt les appareils et les plans exposés par M. L. Droux; il eût été heureux de pouvoir récompenser ses travaux en lui décernant une médaille d'or.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. Michel (Alfredo) [Brésil]. Hors concours, Membre du jury de la classe 63. — Cet exposant a présenté trois appareils :

1° *Autoclaves pour la saponification des corps gras.* — M. Michel s'est proposé de saponifier les corps gras par l'eau seule sous une pression de 14 kilogrammes; dans ce but il a réalisé un système composé de deux autoclaves en cuivre rouge, reliés tous deux par une tuyauterie à un récipient non protégé par de la maçonnerie et par conséquent refroidi constamment par l'air ambiant.

Deux tuyaux mettent chacun des autoclaves en relation avec le récipient; l'un part de la partie supérieure et va aboutir au sommet du récipient; l'autre met l'extrémité inférieure du récipient en communication avec le fond de l'autoclave; ce tuyau est par conséquent plongeur.

Les deux autoclaves sont noyés complètement dans un fourneau en maçonnerie, ils sont chauffés directement par la flamme.

Pour faire fonctionner ces appareils on les remplit *complètement* d'eau et de corps gras neutres dans des proportions variables suivant la nature des matières employées, puis on commence le chauffage. La vapeur d'eau produite s'échappe par le tube supérieur, entraîne des corps gras et se rend dans le récipient supérieur dans lequel elle éprouve une condensation partielle en même temps que la matière grasse se refroidit; ces matières devenues plus denses retournent à l'autoclave par le tuyau plongeur et le même jeu se reproduit pendant tout le temps du chauffage.

Il résulte de cette disposition un brassage énergique des matières en réaction, condition nécessaire pour opérer la saponification.

Cette agitation s'opère sans le secours d'aucun organe mécanique et sans aucun échappement de vapeur.

Chaque opération porte sur 2,500 kilogrammes de corps gras, dure six à sept heures et consomme 250 kilogrammes de combustible.

Cet appareil est une modification de l'ancien appareil Fouché qui comprenait une petite chaudière reliée à un grand condenseur par l'intermédiaire de deux tubes plongeurs.

M. A. Michel a fait le contraire, il a pris une grande chaudière et un petit condenseur; de plus, il n'a mis qu'un tube plongeur; ces conditions sont préférables pour assurer une bonne circulation des liquides.

Le système de saponification de M. Michel fonctionne depuis huit ans à Rio-de-Janeiro, depuis six ans à Buenos-Ayres et il vient d'être installé à Turin et à Lisbonne. Il présente l'avantage de ne pas nécessiter l'emploi d'un générateur.

Appareil à distiller les acides gras. — Cet alambic se caractérise par les points suivants :

La forme lenticulaire, qui augmente la surface de chauffe et la surface d'évaporation,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tout en diminuant le chemin que les vapeurs ont à parcourir avant d'atteindre le col de cygne;

L'adjonction, à l'extrémité du serpentin, d'une pompe à air qui produit un vide partiel dans l'appareil, vide qui a pour résultat d'abaisser le point d'ébullition des matières grasses;

L'emploi d'un double fond en fonte, indépendant du corps de l'alambic et disposé de telle sorte que la vapeur, surchauffée dans un groupe de bouteilles, soit amenée d'abord dans ce double fond où elle continue à échauffer par contact les parois de l'alambic en même temps qu'elle récupère de la chaleur par les retours de flamme sur lesquels repose le double fond, puis soit conduite par un double tuyau dans l'intérieur de l'alambic où elle agit par barbotage comme dans les appareils ordinaires.

Ces dispositions, bien étudiées, permettent de chauffer les matières à distiller d'une façon rapide et régulière, d'éviter les coups de feu et leurs conséquences et d'empêcher la décomposition des corps gras.

Appareil à acidifier. — Il comprend essentiellement une chaudière close, en fonte, de forme ellipsoïdale, munie d'un agitateur à palettes et pouvant être chauffée par l'intermédiaire d'un double fond. A la partie supérieure de cette chaudière, et communiquant avec elle, se trouve un cylindre en fonte, horizontal, dans l'axe duquel se meut à grande vitesse un agitateur à palettes. Un tube amène les acides gras à traiter au haut d'un diamètre de l'un des fonds du cylindre tandis que l'acide sulfurique est versé continuellement et en quantité convenable par une tubulure piquée verticalement sur le tube d'arrivée des corps gras.

Ce dispositif assure un contact intime entre les corps en réaction, condition excellente pour favoriser l'acidification; les matières mélangées tombent en pluie dans la chaudière où elles sont de nouveau brassées par l'arbre à palettes en même temps qu'elles sont maintenues à la température convenable par la vapeur circulant dans le double fond. Une vanne inférieure permet de vider l'appareil lorsque l'opération est terminée. Afin de faciliter le départ de l'acide sulfureux formé, dont la présence est nuisible à la réaction, un tuyau terminé par une pomme d'arrosoir lance de l'air sec et comprimé dans le fond de la chaudière; cet air entraîne mécaniquement l'acide sulfureux et sort de la chaudière par le tube d'amenée des graisses en suivant un chemin inverse du mouvement de ces matières.

Les appareils présentés par M. Michel sont bien étudiés et bien construits; ils semblent devoir produire de bons résultats; le jury ne saurait être plus affirmatif à leur égard, car il n'a pu les étudier d'une manière assez complète pour formuler un avis définitif, aucun d'eux ne fonctionnant dans des usines françaises.

M. Morane jeune (grand prix). — Cette maison, dont on a déjà parlé dans la première partie de ce rapport à propos de la machine à fabriquer les cornues à gaz, avait une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

exposition très complète du matériel de la stéarinerie qui, depuis plus de trente ans, est la principale branche de sa fabrication.

Parmi les objets exposés nous citerons les suivants :

Presses hydrauliques. — Dans ces puissants engins l'ancien cylindre en fonte a été remplacé par un cylindre en fer forgé ou en acier foré; la disposition des sommiers, des colonnes, ainsi que celle des plaques chauffées a été également modifiée. Ces divers dispositifs appliqués dans des presses à froid et à chaud horizontales ont permis d'augmenter dans une très large mesure le nombre des pains à placer dans l'outil; les plaques des presses à chaud sont en acier, d'une seule pièce, les conduits sont forés dans la masse et forment serpentin de vapeur.

Les nouvelles presses sont ainsi disposées : un cylindre en acier foré, à faible course, placé au milieu de la longueur de l'outil, dans un sommier principal, se trouve relié, ainsi que la tête du piston, à deux autres sommiers dont l'un est fixe, tandis que l'autre est mobile et roule sur des galets à mesure que le piston du cylindre presseur avance.

Il résulte de cette disposition qu'en faisant mouvoir le piston pour opérer la pression sur le sommier fixe, dans l'un des compartiments de la presse, on opère en même temps la pression dans le deuxième compartiment puisque le piston emmène avec lui le sommier roulant, qui vient opérer sa pression sur le derrière du cylindre formant contre-sommier. La course de ce piston se trouve ainsi réduite de moitié et par suite l'usure du cuir embouti devient moins rapide, le guidage du piston étant assuré par la disposition des colonnes.

La pression s'opère très rapidement; lorsqu'elle est terminée, deux petits cylindres placés sur les côtés du sommier central, mis en relation avec l'accumulateur actionnant la presse, forcent le piston à rentrer dans son cylindre lorsque la vidange est ouverte en même temps qu'ils ramènent en arrière le sommier mobile et le remettent dans sa position initiale.

Dans les presses à chaud de ce système, les conduites de vapeur qui encombraient le dessus de l'outil se trouvent reportées au-dessous; elles sont constituées par un seul tuyau qui, grâce à la faible course du piston, peut fournir l'élasticité nécessaire à la manœuvre des plaques.

Les pompes qui actionnent ces presses ont également reçu d'utiles modifications offrant à l'ouvrier la plus grande facilité de visite et d'entretien. Dans l'un des modèles présentés, les pistons, contrairement à ce qui s'est fait jusqu'à présent, sont fixes et portent les clapets, tandis que le corps de pompe, rendu mobile, est actionné directement et se meut sur les deux pistons servant de glissière; on arrive ainsi à donner de très grandes courses, ce qui permet de réduire le nombre des pompes d'une usine tout en obtenant un bon rendement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une grande huilerie du Havre, dans laquelle ce système est appliqué, n'a que deux corps de pompe à double action pour alimenter les 80 presses qu'elle possède.

Machine à rogner, polir et marquer les bougies. — La concurrence très grande qui existe dans la fabrication des bougies impose à l'industriel la nécessité de réduire sa main-d'œuvre au minimum; c'est pour répondre à ce besoin que la nouvelle machine a été créée.

Les bougies, placées sur des grands rouleaux, sont dirigées sur deux lignes et d'abord rognées; à cet effet elles viennent en premier lieu se présenter devant deux scies montées sur un parallélogramme dont le mouvement spécial permet à l'ouvrière, par la simple manœuvre d'un volant, de régler les positions suivant la longueur des différentes bougies; ce mouvement fixe en même temps la position des règles de retenue des bougies lorsque celles-ci quittent la scie pour tomber dans la chaîne d'entraînement où elles doivent être polies.

Le tampon polisseur est d'un système nouveau : au lieu de polir successivement chaque partie de la surface des bougies il les recouvre entièrement. Il est animé d'un mouvement rapide de va-et-vient à faible course; la partie frottante est constituée par une toile sans fin, fixée sur des rouleaux qui, à chaque extrémité de la course, tournent sous l'action d'un encliquetage de manière à présenter continuellement une nouvelle partie du linge polisseur.

Cette machine est bien construite, elle pourra rendre de très réels services.

La maison Morane jeune a également exposé quelques types de ses machines créées pour la fabrication du celluloïd. Cette nouvelle industrie prend chaque jour une importance plus grande et réclame un outillage puissant et précis.

L'un des appareils présentés est une presse hydraulique verticale destinée à agglomérer les feuilles de celluloïd à la sortie des cylindres mélangeurs. La matière à presser est introduite dans un coffre disposé pour être chauffé à l'eau ou à la vapeur; le fond de ce coffre est mobile et à la fin de la pression il peut se monter de façon à faire sortir le pain aggloméré sans nécessiter l'ouverture du coffre, ainsi que cela se pratique ordinairement, opération pénible d'où résulte très souvent la rupture des coffres.

En même temps que le pain est poussé hors du coffre, un dispositif hydraulique soulève à une certaine hauteur le sommier supérieur de la presse, ce qui permet de retirer le pain avec la plus grande facilité.

Dans la presse horizontale destinée à mouler le celluloïd sous forme de bâtons de toutes grosseurs, le piston à double effet agit dans un porte-matrice chauffé à la vapeur dans lequel se place la matière à mouler; différentes filières percées de nombreux trous donnent issue à la pâte ramollie et chassée par le piston. Le changement des filières s'opère très rapidement, grâce à un mouvement de bascule très bien combiné.

Les pains de celluloïd, agglomérés comme il a été dit précédemment, sont le plus souvent débités en lames de diverses épaisseurs; la machine exposée par M. Morane

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour pratiquer cette opération permet d'opérer le tranchage de ces pains et de produire des feuilles aussi minces qu'on le désire (jusqu'à 1/4 de millimètre d'épaisseur). Cette machine comprend un plateau animé d'un mouvement alternatif de va-et-vient à l'aide d'une vis à pas rapide; c'est sur ce plateau que se fixe le bloc à trancher.

Au-dessus de ce plateau se trouve le couteau trancheur mis en action par un système de leviers et de bielles agissant sur des vis. Un cadran gradué, mis en relation avec le chariot, permet d'assurer la descente très régulière du couteau.

Les plaques de celluloïd ainsi tranchées étant rarement planes, il est nécessaire de les redresser et de leur donner une surface polie; dans certains cas elles doivent être marbrées. Ce travail s'exécute dans une puissante presse hydraulique pouvant recevoir des plaques en acier de 1 m. 560 de long sur 0 m. 400 de large. Ces plaques sont creusées, comme celles utilisées par la stéarinerie, et sont chauffées à la vapeur par des tuyaux métalliques disposés à l'arrière de la presse. Elles reposent sur des crémaillères permettant de laisser entre elles les espaces nécessaires au placement des feuilles à presser.

C'est également dans ces presses que se fait le collage du celluloïd sur le linge destiné à faire des cols et des manchettes. On aura une idée de la puissance de ces outils lorsqu'on saura que la pression qui y est développée atteint 1,200,000 kilogrammes.

Enfin l'Exposition comprenait diverses machines aptes à débiter le celluloïd soit en bandes plates pour la fabrication des peignes, soit en cubes de toutes dimensions; des machines à tailler les dents de peignes, à faire les boutonnières, à imiter la piqûre des cols et des manchettes, etc.

Ces divers outils sont bien construits, ils sont estimés non seulement en France, mais aussi à l'étranger: c'est ainsi que récemment M. Morane a fourni le matériel complet d'une des plus grandes usines de celluloïd de Leipzig.

En 1878, M. Morane jeune avait obtenu un grand prix; le jury de l'Exposition de 1889 a été heureux de constater que cette maison avait su maintenir le rang élevé qu'elle avait atteint, et il lui a de nouveau décerné sa plus haute récompense.

M. Morane aîné (médaille d'or). — Cette maison est très anciennement et très avantageusement connue pour sa bonne construction du matériel relatif à la fabrication des bougies stéariques. A côté des appareils de la fabrication proprement dits, autoclaves, chaudières à distiller, presses hydrauliques à froid et à chaud, évaporateurs à glycérine, etc., on remarquait une série de machines à couler les bougies qui donnait une idée de la supériorité que cette maison a acquise et a toujours su garder pour cette spécialité qu'elle a créée.

Les machines à couler, à enfilage continu, pour bougies pleines ou pour bougies à trous, sont trop connues pour qu'il soit nécessaire d'en faire la description; celles exposées ne présentaient pas de caractères réellement nouveaux sur celles ayant figuré

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'Exposition universelle de 1878, elles n'en différaient que par une étude plus complète de certains détails accessoires. Cette remarque n'est pas une critique, c'est au contraire la constatation d'un fait tout à l'honneur de la maison Morane aîné puisque c'est la reconnaissance implicite que les types qu'elle a créés étaient si parfaits en 1878 qu'aucune autre machine n'a pu arriver à les supplanter dans cette période décennale.

La maison exposait aussi une très belle machine à couler les bougies de paraffine et une machine permettant de couler, en toute saison, les chandelles de suif.

Enfin, cette exposition comprenait une machine à fabriquer les étuis à bougies de divers calibres, une machine à fondre les moules de bougies et une très belle collection de moules de diverses formes, cannelés, torses, etc.

MM. Pardailhé-Galabrun frères (médaille d'or). — Ont présenté des machines à couler les bougies pleines ou à trous ainsi que des machines à couler les matières tendres dans lesquelles le décollage de la matière s'opère à l'aide d'un arbre excentré.

Dans certaines de ces machines, le centreur s'écarte pour le démoulage au lieu de se renverser; dans d'autres, un dispositif spécial permet de couler des bougies de longueurs variables.

L'exposition comprenait également un beau buffet de pompe à désembrayage automatique avec tige à rotule.

Stéarinerie française (médaille d'or). — La Stéarinerie française, créée depuis l'Exposition universelle de 1878 par la réunion des usines Petit frères, veuve Delapchier et fils et Joret, Chibert, Chancy et Cie, E. Baujard, Besson aîné, avait présenté plusieurs appareils intéressants :

Appareil pour le refroidissement de l'acide oléique. — Les acides gras, provenant des diverses graisses végétales ou animales employées dans l'industrie stéarique, sont des mélanges à proportions variables d'acides solides, stéarique, margarique, palmitique, etc., et d'acide oléique liquide.

La séparation de ces produits s'opère, comme l'on sait, par des pressions faites d'abord à la température ordinaire, c'est la pression à froid; puis dans des presses chauffées à la vapeur, c'est la pression à chaud.

L'expérience a démontré que la pression à froid se réalise dans les meilleures conditions possibles lorsque l'acide gras soumis à cette pression est à la température de 18 degrés au minimum. La galette obtenue ne contient plus alors qu'une très faible quantité d'acide oléique, ce qui favorise au plus haut degré l'action de la presse à chaud.

Cette précaution obligatoire à une température relativement élevée a malheureusement pour conséquence de mettre le fabricant en perte, parce que les acides gras solides ont la propriété de se dissoudre dans l'acide oléique et que leur solubilité est d'autant plus grande que la température est plus élevée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A 18 degrés, température reconnue indispensable pour une bonne fabrication, l'acide oléique dissout 15 p. 100 de son poids d'acide stéarique; or cet acide, perdu pour la fabrication de la bougie, est livré à la savonnerie comme acide oléique, ce qui, eu égard à la différence de prix des deux produits, acide stéarique et acide oléique, constitue une perte minima de 7 à 8 francs par 100 kilogrammes.

Pour récupérer cet acide stéarique, on a tout d'abord, et pendant de longues années, utilisé le froid naturel des caves, mais la température moyenne de ces milieux étant loin de produire tout l'effet désiré, on s'est adressé aux moyens de réfrigération artificiels et on a eu recours aux machines à glace; c'est ainsi que les fabriques hollandaises entre autres, favorisées cependant par leur climat, avaient installé des machines frigorifiques qui, dans l'une d'elles, pouvaient produire jusqu'à 5,000 kilogrammes de glace à l'heure.

Ce mode de refroidissement a dû être abandonné à son tour pour trois motifs :

1° Parce que la consommation de glace était hors de proportion avec le résultat obtenu. En effet, la majeure partie du froid produit se perdait au contact de l'air ambiant constamment réchauffé par l'éclairage artificiel des caves, par la présence d'un nombre assez considérable d'ouvriers, etc.;

2° Parce que l'acide oléique refroidi en masse prend un état d'homogénéité qui rend la séparation ultérieure des acides oléique et stéarique presque impossible;

3° Parce que la main-d'œuvre était beaucoup trop considérable.

Toutes ces mauvaises conditions résultant de l'application du froid sur l'acide oléique, par rayonnement, ont suggéré à MM. Petit frères l'idée d'appliquer le froid artificiel obtenu par des machines à glace, non plus sur l'acide oléique placé en grandes masses dans des bacs, mais sur cet acide présenté en couches minces renouvelées d'une manière continue.

A cet effet ils ont imaginé un appareil très ingénieux dont voici une description sommaire :

Une roue en fonte, d'un diamètre de 1 m. 50 environ et d'une largeur de 0 m. 30, présente sur sa jante une creusure, constituant un espace annulaire dont les deux faces latérales et le cercle de plus petit diamètre sont venus de fonte avec les bras et le moyeu, tandis que le cercle extérieur est formé par une feuille épaisse de zinc, convenablement assujettie aux parois de fonte et dont la surface a été soigneusement tournée. L'axe de rotation de cette roue est creux et porte au milieu de sa longueur une cloison qui le divise en deux chambres, communiquant chacune par un tuyau avec l'espace annulaire. Un de ces tuyaux amène dans la roue un courant d'eau refroidie provenant d'une machine à glace, l'autre tuyau sert à évacuer l'eau échauffée par le travail et à la ramener à la machine frigorifique; deux tubes, passant dans des stuffing-box, permettent l'arrivée et la sortie des liquides pendant le mouvement de la roue.

Une cuvette en zinc, dont le bord inférieur est tangent à la surface extérieure de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

roue, sert à alimenter l'appareil; elle est placée à la partie inférieure de l'appareil. Un cuir convenablement assujetti s'applique contre la roue et s'oppose aux fuites latérales.

Une raclette en acier, légèrement inclinée dans le sens du mouvement de l'appareil, est fixée au bâti et frotte sur la surface extérieure de la roue pendant toute la durée de sa rotation. Cette raclette est également placée à la partie inférieure de la roue, à une très petite distance de la cuvette d'alimentation. Un contrepoids la fait appliquer tout en laissant un jeu suffisant pour éviter l'usure des parties frottantes.

Un bac en tôle, à double fond, refroidi par l'eau sortant de la roue, sert à emmagasiner les acides concrétés.

Le mouvement est communiqué au système par l'intermédiaire d'un pignon engrenant sur des dents venues de fonte sur l'une des joues de la roue; le sens de la rotation est établi de telle sorte que toutes les parties de la circonférence de la roue se présentent successivement à la cuvette en zinc (en remontant), et que, par suite, elles passent ultérieurement contre la raclette avant de se présenter de nouveau à la cuvette.

L'appareil est complété par une pompe à piston plongeur mise en relation, d'une part, avec le bac en tôle décrit plus haut et, d'autre part, avec un filtre-presse.

Voici comment cet appareil fonctionne :

La roue étant mise en mouvement, on ouvre le robinet d'alimentation de l'acide oléique de façon à remplir la cuvette en zinc, et on donne accès à l'eau froide; l'acide oléique se trouvant en contact avec la paroi en zinc refroidie se concrète immédiatement et forme à la surface de cette paroi une mince couche qui y reste collée et qui se trouve entraînée hors du bain d'acide oléique par suite du mouvement de rotation de l'appareil.

Cette couche, assez molle d'abord, se refroidit de plus en plus, acquiert de la consistance et finalement vient se présenter à la raclette qui la détache et la fait tomber dans le bac inférieur. La périphérie de la roue débarrassée de sa couche d'acide concret se représente de nouveau sous la cuvette d'alimentation où elle se regarnit d'acide oléique à traiter.

Si la température de l'eau envoyée dans la roue a été convenablement déterminée, les acides solides seuls se concrètent et l'acide oléique reste liquide; de plus, comme le refroidissement s'est opéré d'une manière assez brusque, les acides solides ont pris une forme cristalline éminemment favorable à la pression ultérieure qui doit opérer la séparation des produits.

La pompe puise ce mélange dans le bac et le refoule dans le filtre-presse, l'acide oléique s'écoule, presque complètement privé d'acides solides, tandis que les acides concrétés sont retenus dans les chambres du filtre.

Le jeu de l'appareil étant continu, sa puissance de production est considérable, et le refroidissement désiré se trouve acquis avec le minimum de calories négatives nécessaires, la main-d'œuvre étant pour ainsi dire nulle.

Ce procédé de refroidissement par couches minces est susceptible d'être utilisé dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un grand nombre d'industries; il a été appliqué dans diverses stéarineries de France et de l'étranger, notamment en Hollande, où vingt appareils en service ne consomment ensemble que 300 kilogrammes environ de glace à l'heure, tandis que les mêmes usines consommaient antérieurement plus de 10,000 kilogrammes de glace à l'heure pour produire des résultats extrêmement imparfaits.

Appareil à distiller les acides gras. — Les acides gras obtenus par la saponification sulfurique sont soumis à la distillation dans le but de les décolorer.

Cette distillation s'opère dans de grands alambics, le plus généralement en cuivre, dans lesquels on injecte un courant de vapeur, surchauffée au degré nécessaire pour amener la matière grasse à son point d'ébullition.

Le dernier retour de flamme du foyer surchauffeur de vapeur est utilisé sous la chaudière avant d'être dirigé dans la cheminée.

Dans les appareils ainsi construits la dépense de vapeur est hors de proportion avec la quantité d'acide gras distillé; de plus, le temps nécessaire pour opérer la distillation étant très long, les acides gras subissent des altérations plus ou moins profondes qui diminuent le rendement.

Pour remédier à cet état de choses, la Stéarinerie française a imaginé un appareil dans lequel la distillation s'opère en provoquant l'ébullition, non plus dans la masse du produit à distiller, mais dans une portion restreinte, et au sein même du corps à distiller. La distillation s'opère, par suite, par petites fractions, comme si l'on faisait usage d'alambics de petites dimensions et l'on évite la complication qui résulterait de l'emploi d'un grand nombre de petits appareils.

Le dispositif très simple auquel on a eu recours comprend essentiellement :

Un tube de forte section placé verticalement dans l'axe de l'alambic et mis en relation à sa partie inférieure avec une coupole dont la concavité regarde le fond de l'alambic.

Ce tube est surmonté à sa partie supérieure d'un chapeau hémisphérique.

La vapeur surchauffée est amenée dans l'appareil par un tube contourné en serpentin, dont l'orifice libre débouche sous la coupole inférieure, dans l'axe du tube vertical.

Ces organes constituent ainsi, au sein de la matière à distiller, une sorte d'appareil évaporatoire, de très petite dimension, constamment alimenté d'acides gras, dans lequel la vapeur s'émulsionne immédiatement avec la matière à distiller et lui abandonne par suite toutes ses calories utiles, pour la porter instantanément à son point d'ébullition.

Les vapeurs mixtes — eau et acide gras — ainsi produites s'élèvent avec rapidité dans le tube central où elles sont protégées contre le refroidissement par la couche d'acides gras dans laquelle tout l'appareil est submergé, et elles viennent déboucher à la partie supérieure du tube avec une grande force.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A ce point, se trouve placé un obstacle en forme de chapeau ou de calotte, contre lequel le jet vient se briser. Par suite de ce choc, les vapeurs se trouvent analysées : les liquides entraînés mécaniquement refluent dans l'alambic, tandis que les vapeurs mixtes, eau et acides gras, se trouvant élevées au droit de la trompe qui relie l'alambic au réfrigérant, s'engagent immédiatement dans le serpentin, sans avoir le temps de subir aucune condensation dans l'appareil.

L'effet étant continu, cette distillation se produit tant qu'il reste du liquide à distiller.

La vapeur ainsi appliquée est tellement bien utilisée que la constitution du liquide mixte condensé dans le serpentin se trouve renversée, c'est-à-dire que, contrairement à ce qui se passe d'habitude, la proportion d'acides gras distillés est beaucoup plus considérable que la quantité d'eau condensée; aussi, au lieu de voir couler un liquide blanchâtre, entraînant des gouttes d'acides gras fondus, on observe que le jet se présente sous la forme d'une masse onctueuse fortement émulsionnée.

Grâce à la rapidité de la distillation (sa durée étant réduite environ à la moitié du temps habituellement exigé), on obtient des acides gras durs, non seulement en plus grande quantité, mais encore d'une très grande blancheur. De plus, la période finale de la distillation (la fin de charge) se trouve réduite au minimum, puisqu'elle ne commence à se manifester que lorsqu'il n'y a plus assez de liquide pour produire le jeu régulier de l'appareil central, c'est-à-dire lorsque la presque totalité du liquide a distillé.

Pince-mèches applicable aux métiers à couler les bougies. — Les divers systèmes dont on fait usage pour la fixation de la mèche dans les moules des machines à couler les bougies ont tous l'inconvénient de ne pas s'assujettir exactement dans l'axe des moules. Il en résulte que, la mèche étant décentrée, la combustion se fait sur le côté, ce qui est d'un effet désagréable et fait couler la bougie.

De plus, par suite de la rigidité des organes de la machine, la mèche est souvent coupée par le serrage ou bien elle ne se trouve pas suffisamment maintenue.

Pour parer à ces inconvénients, la Stéarinerie française a imaginé un pince-mèche consistant en un cadre fixé horizontalement sur la cuvette porte-moules, au moyen de guides qui évitent tout tâtonnement et rendent sa position invariable.

Des entailles pratiquées sur le pourtour de ce cadre servent à conduire les mèches au moment du démoulage; le fond de ces entailles correspond exactement à l'axe des moules et détermine avec précision la position et par suite le centrage certain de la mèche.

Une gorge ménagée sur les parois extérieures du cadre est destinée à recevoir les règles de serrage, lesquelles se terminent d'un côté par un levier à crochet, demi-circulaire, et de l'autre par un galet en caoutchouc recouvert de laiton.

Pour procéder au serrage des mèches il suffit, après avoir rapproché les règles des

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

côtés du cadre, de tourner les leviers de façon à enclencher les galets dans des crochets disposés *ad hoc*.

Dans cette opération, les galets en caoutchouc servent d'intermédiaire et permettent de serrer les mèches dans le fond des entailles avec une force suffisante pour en assurer l'immobilité, sans courir le risque de les cisailler.

MM. Behier frères (médaille d'or). — La spécialité de cette maison est l'outillage nécessaire à la fabrication des savons de toilette : rabots rotatifs à simple ou à double effet, broyeuses à cylindres en granit, boudineuses à vis parabolique, appareils à découper les boudins et les briquettes, presses à main ou à vapeur, tamiseurs, concasseurs, chaudières à savon, etc.

On pouvait particulièrement remarquer dans l'exposition de MM. Behier frères une grande broyeuse, à quatre cylindres en granit, dans laquelle le savon, versé en copeaux puis additionné du parfum convenable, se trouve déversé directement en rubans minces, dans une boudineuse à vis parabolique, ayant pour fonction de peloter le savon et d'extraire l'air interposé entre les lamelles, d'où il s'échappe en boudins homogènes et parfaitement lisses, lesquels sont recueillis par une ouvrière et coupés ensuite en bondons de la longueur convenable pour être pressés.

Le travail de cette machine ne laisse rien à désirer, son rendement est considérable.

Pour répondre à la grande production de cette machine, les exposants ont construit un modèle de presse à vapeur très bien agencée.

Cette presse est commandée au pied; une très faible pression sur la pédale détermine le coup de presse.

Le piston remonte immédiatement dès que la pression cesse sur la pédale; elle peut être conduite par une femme ou un enfant.

On peut encore citer une machine à agiter les flacons destinée à la parfumerie et à la pharmacie, affectant la forme d'une table sur laquelle les flacons placés horizontalement sont soumis à des secousses énergiques et répétées qui permettent d'opérer en peu de temps des mélanges, des macérations, etc.

La maison Behier avait obtenu une médaille d'argent en 1867; les progrès qu'elle a accomplis depuis cette époque ont été fort appréciés par le jury qui les a récompensés en lui décernant une médaille d'or.

M. Constantin Zissis [Grèce] (médaille de bronze). — A exposé une machine pour fabriquer des bougies à deux mèches; cette machine est à repoussoir, elle offre une grande analogie avec celle du type de A. Morane.

Les mèches de bougies, d'après la manière dont elles sont tressées et apprêtées, se recourbent en brûlant; on doit donc avoir soin de les placer dans la machine de telle manière que, lors de la combustion, la courbure de l'une se produise en sens inverse de celle de l'autre; on étale ainsi la flamme et on assure la régularité du godet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une bougie ordinaire brûle environ 10 gr. 5 d'acide stéarique à l'heure tandis que la bougie à 2 mèches brûle 16 gr. 9. La lumière produite par cette bougie est supérieure, à poids égal d'acide stéarique brûlé, à celle fournie par une bougie à une mèche. La nouvelle bougie pourra donc être employée avec avantage dans tous les cas où l'on désirera produire un éclairage intensif avec un petit nombre de bougies.

Il convient cependant d'ajouter que, dans quelques-unes des bougies qui ont été essayées par le jury, il se produisait à certains moments des vacillements dans la flamme d'un effet peu agréable; cet inconvénient pourra sans doute être corrigé dans une fabrication suivie.

Stéarinerie de l'Est (médaille de bronze). — A exposé deux appareils : *un autoclave* et *un appareil à distiller les corps gras*.

L'autoclave est disposé pour la saponification par l'eau seule à une pression de 15 kilogrammes; sa forme est celle d'un autoclave ordinaire de stéarinerie; à l'intérieur il renferme un mélangeur en bronze composé d'un cylindre ayant à sa partie inférieure un tuyau d'aspiration descendant au fond de l'autoclave et à sa partie supérieure un couvercle traversant une plaque perforée. Au milieu de ce cylindre se trouve un plongeur muni d'un clapet de refoulement et relié à un moteur hydraulique fixé sur le dessus et en dehors de l'autoclave.

Au moyen de ce moteur on imprime un mouvement alternatif rapide de bas en haut au plongeur et on produit dans la masse une agitation très énergique qui amène un contact intime entre l'eau et la matière grasse et facilite la réaction.

La vapeur arrive dans la chambre libre qui se trouve en haut de l'appareil, et non pas par un plongeur ainsi que cela se pratique ordinairement; cette disposition évite les dangers de retour au générateur.

D'après les renseignements qui ont été fournis au jury, mais qu'il n'a pas été possible de contrôler, la saponification ne laisserait que 1 ou 2 p. 100 au maximum de matières neutres et donnerait 10 p. 100 de glycérine.

L'appareil à distiller est en cuivre rouge et possède un double fond en fonte destiné à recevoir directement l'action du feu.

La vapeur pénètre dans ce double fond, se surchauffe et est introduite ensuite dans l'alambic par un tube contourné en serpentin.

Le col de cygne de cet alambic est de forte section; il sert à loger un serpentin en cuivre rouge, à spires rapprochées, disposé horizontalement. Lorsque la première charge introduite dans l'alambic est en distillation régulière, on injecte dans le serpentin des acides gras bruts préalablement chauffés qui, se trouvant noyés dans la vapeur des produits sortant de l'appareil, empruntent à cette vapeur une partie de sa chaleur et se trouvent ainsi instantanément portés à une température voisine de leur point de distillation. Ils tombent à cet état dans l'alambic où ils arrivent dans les meilleures conditions possibles pour subir une distillation rapide.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Grâce à cette ingénieuse disposition on peut distiller à marche continue, éviter les commencements et les fins de charge, toujours plus ou moins colorés, et réduire notablement la quantité de goudron produite. (La Stéarinerie exposante déclare ne faire que 1/2 p. 100 de goudron.)

Le modèle exposé est de la grandeur adoptée dans l'usine de Dijon; il permet de distiller 5,000 kilogrammes d'acides gras par vingt-quatre heures, avec une charge initiale de 1,800 kilogrammes.

A la fin de la distillation, il reste dans l'alambic 250 à 300 kilogrammes de goudrons qui sont vidés, acidifiés, puis redistillés à part.

M. Hugues (médaille de bronze). — *Appareil thermodynamique pour la saponification aqueuse des corps gras.* — Dans ces autoclaves, la matière à saponifier est tenue en agitation constante par un courant de vapeur à haute pression qui, après avoir traversé, chauffé, agité et mélangé les matières, s'échappe au sommet de l'appareil par un tuyau en spirale plongé dans un bac contenant des eaux glycériques à évaporer. La condensation qui se produit dans ce serpentin est évacuée par un clapet régulateur.

Les eaux glycériques de l'usine se trouvent ainsi évaporées sans frais par la vapeur perdue, en même temps que se produit dans l'autoclave un brassage énergique qui favorise la réaction.

L'appareil fonctionne à 15 kilogrammes, l'opération dure huit heures, chargement compris, et la saponification se fait à 2 ou 2 1/2 p. 100 près.

Des organes de précision, détendeur et régulateur de pression, sont placés sur la conduite de vapeur reliant l'autoclave au générateur, lequel est alimenté automatiquement.

Les acides gras au sortir de cet autoclave sont peu colorés et aptes à être envoyés directement soit aux presses, soit à la distillation.

Dans le premier cas, les quelques centièmes de matière neutre non saponifiés s'écoulent avec l'acide oléique et sont repris, après refroidissement et filtrage de celui-ci, pour repasser à l'autoclave, mélangés avec des matières neuves.

Dans le second cas, après la distillation des 95 p. 100 de leur masse, les matières formant le résidu de la distillation sont reprises par 2 p. 100 d'acide sulfurique, puis soumises à leur tour à la distillation.

L'appareil Hugues ne présente aucun caractère de nouveauté, mais tous les détails en sont bien étudiés et sa construction est irréprochable. Il est employé depuis 1883 à la Manufacture de bougies de l'Étoile où il fonctionne avec régularité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

V

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE LA PHARMACIE.

Nombre des exposants : 30.

Français	23
Belges	3
Anglais	2
Russe	1
Américain	1

HORS CONCOURS.

MM. Capgrand-Mothes et Cie, expert de la classe 51.
Billault, expert de la classe 51.
Egrot, membre du jury de la classe 50.

Médailles	d'argent	4
	de bronze	5
Mentions honorables		8

L'exposition relative au matériel de la pharmacie comprenait un nombre assez restreint d'exposants et présentait peu d'appareils nouveaux; il n'en faut pas moins constater que cette branche de l'industrie chimique présente actuellement un haut degré de perfection et que non seulement elle est à la hauteur des derniers progrès scientifiques, mais encore qu'elle concourt pour une large part au développement de l'exportation des produits pharmaceutiques français si justement estimés dans le monde entier.

Parmi les produits exposés, il convient de citer ceux présentés par les maisons suivantes :

MM. Capgrand-Mothes et Cie, successeurs de MM. Mothes-Lamouroux et Cie, dont les produits sont connus et appréciés depuis si longtemps sous le nom de *capsules Mothes*, se présentaient pour la première fois en France dans une exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Aucune maison n'était plus autorisée qu'elle à montrer l'outillage général et parfait de la fabrication des capsules gélatineuses.

Tous les appareils exposés formaient en quelque sorte la monographie de cette industrie que M. Mothes a créée.

L'un de ces appareils, d'invention récente, et encore sous le bénéfice d'un brevet, mérite une mention spéciale pour les services qu'il peut rendre quotidiennement en pharmacie.

Les praticiens connaissent toutes les difficultés qui se présentent lorsqu'il faut loger des poudres difficiles à prendre ou des mélanges de poudre et de substances liquides de grande valeur thérapeutique (cubèbe et copahu) dans des capsules gélatineuses.

Cette manipulation est tellement difficile qu'elle est généralement éludée par les pharmaciens.

L'encapsuleur inventé par MM. Capgrand-Mothes évite ces difficultés: il se compose d'une boîte en bois formée par trois compartiments ajustés les uns sur les autres à frottement dur.

Le compartiment supérieur porte au milieu de sa hauteur une plaque percée d'un grand nombre de trous dans chacun desquels s'ajuste un petit tube en laiton de 0 m. 01 de longueur et du diamètre de l'orifice des capsules à remplir.

Le compartiment intermédiaire est constitué par une plaque épaisse en laiton séparée de la plaque tubulaire par un espace de quelques millimètres.

Cette plaque est percée de trous fraisés qui, lors de la juxtaposition des deux parties, viennent se placer concentriquement aux tubes métalliques; elle est destinée à maintenir la position des capsules lors de l'emplissage et à permettre d'opérer leur fermeture.

Le compartiment inférieur est une sorte de couvercle renversé portant un matelas de liège et d'ouate faisant ressort et appliquant toutes les capsules sur la plaque perforée.

Pour faire usage de l'appareil il suffit de placer dans chacun des trous de la plaque perforée une capsule gélatineuse, de mettre le couvercle inférieur, de relever l'appareil, puis d'y placer la plaque tubulaire : chaque tube de cette dernière pénètre ainsi de quelques millimètres dans les capsules pour lesquelles il forme une sorte d'entonnoir.

On introduit alors dans l'espace libre laissé au-dessus des tubes la poudre médicamenteuse que l'on désire encapsuler, puis, à l'aide d'un mouvement de tamisage, on la fait descendre dans les capsules.

Lorsque celles-ci sont remplies, on enlève la plaque tubulaire et toutes les capsules maintenues par le disque perforé présentent sur un même plan leurs orifices ouverts. On peut alors procéder à la fermeture des capsules par le procédé connu.

L'opération de remplissage s'opère avec une extrême rapidité et la répartition dans les capsules est très régulière.

Placé hors concours en sa qualité de membre du jury de la classe 51, M. Capgrand-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mothes a perdu le bénéfice de la récompense qui aurait pu lui être attribuée, mais le jury a estimé qu'il y avait lieu de faire une mention toute spéciale pour les objets exposés par la maison dont il est le chef et en particulier pour l'encapsuleur de poudres sèches qui peut rendre de réels services à la pharmacie pratique.

M. Billault, à Paris. Membre expert du jury. Hors concours. — Le chlorure de méthyle, que l'industrie produit actuellement à bas prix dans un très grand état de pureté, grâce aux remarquables travaux de M. C. Vincent, a été, dans ces dernières années, appliqué avec beaucoup de succès dans la thérapeutique.

Sous le nom de *stypage*, M. le Dr Bailly, de Chambly (Oise), a utilisé le chlorure de méthyle à la guérison des affections névralgiques et rhumatismales et en a préconisé l'emploi comme anesthésique dans certaines opérations qui se pratiquent avec l'aiguille, la lancette, le trocart, le thermocautère, etc., ainsi que dans quelques opérations dermatologiques.

Le stypage est une méthode de réfrigération locale qui repose sur l'évaporation rapide du chlorure de méthyle emmagasiné à l'état liquide, dans un corps spongieux.

La mise en pratique de cette méthode réclame l'emploi d'instruments spéciaux qui ont été exposés par M. Billault. Un nécessaire en bois renferme sous un petit volume les éléments nécessaires à ces opérations; il comprend un récipient à chlorure de méthyle liquide, des tampons spongieux, récepteurs du liquide frigorifère, des pinces isolantes (stypes), destinées au maniement des tampons, et un thermo-isolateur.

La pièce la plus intéressante est le récipient à chlorure de méthyle.

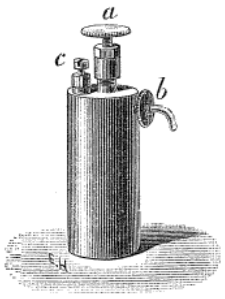


Fig. 10.

C'est un petit cylindre en bronze, d'une contenance de 125 centimètres environ, portant à sa partie supérieure trois appendices :

Un robinet à molette *a*, un ajutage *b* et une vis *c*, servant au remplissage.

Ce petit réservoir, d'un poids très faible, peut être facilement manié à la main; il contient une quantité de chlorure de méthyle suffisante pour plusieurs opérations; lorsqu'il est vide, on peut le charger facilement soi-même au moyen d'un récipient plus gros servant de réserve.

Ces récipients de réserve renferment de 1 à 4 kilogrammes de chlorure de méthyle.

Pour remplir le petit siphon, il faut d'abord le relier avec la réserve par un ajutage double, puis, à l'aide d'un tournevis, on desserre d'un demi-tour la vis *c*, puis la molette *a* de deux tours et, enfin, la molette A du gros vase, de la même quantité. On entend aussitôt l'air s'échapper en sifflant par le trou latéral de la vis *c*, en même temps que le chlorure de méthyle se précipite dans le petit siphon et le remplit. Lorsqu'il est suffisamment plein, ce que l'on reconnaît au brouillard qui s'échappe par le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trou de la vis *c*, on ferme cette vis, puis la molette A du grand vase et, enfin, celle du petit vase.

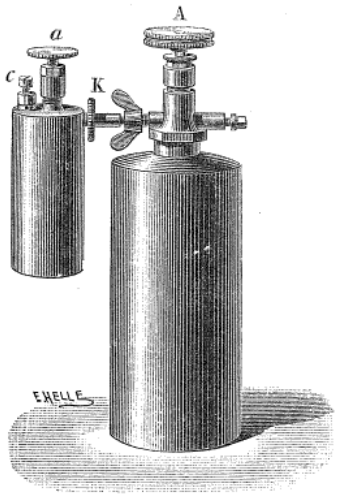


Fig. 11.

On dévisse alors l'ajutage double, qui relie les deux récipients et on revisse l'ajutage *b* sur le petit siphon. Cet ajutage est destiné à faire jaillir le chlorure de méthyle dans le thermo-isolateur.

Cet appareil est un récipient en verre formé de deux tubes concentriques, bouchés à l'une de leurs extrémités, dans l'intervalle desquels a été fait le vide sec, ces deux tubes étant soudés l'un à l'autre à leur extrémité ouverte.

Le tube intérieur sert à recevoir le chlorure de méthyle qui se trouve isolé de la chaleur extérieure par le vide sec; cette condition lui permet de demeurer à l'état liquide sans entraîner, sur le tube extérieur, la précipitation de la vapeur d'eau de l'air ambiant, précipitation qui, sur un tube ordinaire simple, se fait à l'état de neige et forme une cause énergique de réchauffement.

On peut ainsi conserver pendant plusieurs heures, en vue d'opérations multiples, le chlorure de méthyle, ou tout autre gaz liquéfié, devenu aussi maniable qu'un liquide fixe.

Les stypes sont des pinces en bois dont une des branches est formée par une palette pleine et l'autre par une palette évidée à travers laquelle on fait passer les tampons de coton.

Des pinces plus petites, sans palettes, à mors droits, servent pour les petits tampons.

Les tampons, de diverses formes et de diverses grosseurs, sont formés d'ouate au centre, de bourre de soie à la périphérie, et l'ensemble est recouvert de gaze de soie.

Ainsi construits, ils s'imprègnent facilement de chlorure de méthyle, en permettent aisément l'expression et donnent le moyen d'obtenir l'abaissement de température le plus rapide (quelques secondes), le plus considérable (— 55 degrés à — 60 degrés), le plus prolongé (à l'air libre, 45 à 60 minutes).

Le chlorure de méthyle liquide s'emploie aussi en thérapeutique sous forme de jet; les siphons qui viennent d'être décrits se prêtent remarquablement bien à cet usage; il suffit de leur adapter un pulvérisateur.

On sait que, lorsque le chlorure de méthyle jaillit par un orifice, le bord de cet orifice se refroidit énergiquement et l'humidité de l'air s'y condense instantanément en l'oblitérant plus ou moins et en déformant le jet.

Le pulvérisateur, exposé sous le nom de *pulvérisateur réglable à aiguille*, permet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de combattre, d'une manière absolue, cet inconvénient. Il suffit, en effet, de déplacer d'une façon presque insensible l'aiguille en manœuvrant la molette du pulvérisateur, pour annihiler l'effet de la glace produite et pour rétablir le jet que l'opérateur désire obtenir.

Les divers siphons énumérés ci-dessus ainsi que le pulvérisateur ont été construits sur les données calculées par M. Vincent, les siphons sont essayés avant leur livraison à une pression six fois plus considérable que celle qu'ils doivent supporter du chlorure de méthyle dans les conditions ordinaires.

L'exécution soignée de ces appareils permet de conserver presque indéfiniment et sans perte le chlorure de méthyle.

M. Egrot. Membre du jury. Hors concours. — La maison Egrot, outre les appareils distillatoires qui ont fait sa réputation, construit des appareils de distillation simples ainsi que tout le petit matériel en fer et en cuivre pour les fabriques de liqueurs, de parfumerie, de produits pharmaceutiques, de conserves alimentaires, etc.

La construction extrêmement soignée de tous les appareils de cette maison est bien connue et appréciée; si le jury avait eu à la comprendre parmi ses lauréats il lui aurait décerné une médaille d'or.

M. E. Brehier (médaille d'argent). — Matériel en cuivre pour la parfumerie et la pharmacie, offrant des dispositions nouvelles bien étudiées. On peut particulièrement citer parmi les objets exposés un petit appareil à cuire et à distiller dans le vide, dans lequel la température peut être facilement entretenue constante et aussi basse que possible.

Cette maison a fait ses preuves; elle est très avantageusement connue.

A citer encore : les machines à fabriquer les pastilles de Jules Derriey; l'appareil ingénieux de Théodore Debruge pour la confection des pilules; les piluliers et les pastilleurs de H. Nègre et Cie; les cacheteurs de Limousin, de Chapireau, etc.; les flacons compte-gouttes posimétriques de Jeannin; les appareils à préparer les pommades et à pulvériser et mélanger les poudres de N. Palau et Cie; le système de bouchage hermétique de E. Fournier; ainsi que les appareils en verre et en porcelaine fabriqués par MM. Bredeville et Paturel et par la maison Millerio. Cette dernière maison mérite une mention toute spéciale pour les efforts qu'elle a tentés en vue de fabriquer en France la verrerie mince analogue à la verrerie de Bohême; les spécimens qu'elle avait exposés laissent espérer que dans un avenir peut-être peu éloigné les laboratoires ne seront plus tributaires de l'Allemagne pour la fourniture de ces objets spéciaux qui rendent de si utiles services.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE LA VERRERIE.

Nombre des exposants : 10.

Français	8
Belges	2

GRAND PRIX

M. Eugène Baudoux (Belgique).

Médailles	d'argent	3
	de bronze	5

M. Eugène Baudoux (grand prix). — Le plus grand progrès qui ait été réalisé dans ces dernières années pour la fabrication du verre à vitres ou du verre à bouteilles est la suppression de l'usage des pots et l'emploi des fours à gaz à fusion continue.

Ces fours, comme l'on sait, affectent la forme d'un large bassin, divisé par un autel transversal en deux compartiments : le compartiment d'arrière est celui dans lequel s'opère la charge des matières vitrifiables et leur fusion proprement dite; le compartiment d'avant reçoit, par une série de trous percés au-dessous de l'autel, le verre affiné devenu plus dense, c'est le réservoir de verre achevé dans lequel s'opère la cueillette. Le chargement de la composition, d'une part, le cueillage, de l'autre, déterminent le mouvement du verre dans le four.

Des conduits convenablement ménagés mettent en relation l'intérieur du four avec des gazogènes.

Les fours à bassin, primitivement construits, présentaient trois défauts principaux qui faisaient hésiter les industriels à adopter leur emploi et qui s'opposaient à ce que le nouveau système prît la place importante qui lui était réservée :

En premier lieu les fours à bassin marchaient peu de temps sans exiger une réfection des parties les plus exposées à la corrosion; or cette réparation entraînait l'ex-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tinction du four, était très onéreuse et enlevait, en grande partie, les avantages économiques du système.

En second lieu, les verres produits par les fours à bassin variaient souvent de nature en passant de l'état granuleux à l'état strieux ; même en bonne allure ils étaient très peu homogènes, d'un aspect onduleux augmentant considérablement cet effet de miroitage qui distingue le verre à vitre soufflé des glaces coulées et polies.

Enfin, outre que les fours à bassin duraient peu, ils ne donnaient leurs meilleurs résultats que pendant une période extrêmement courte. Cela provenait de ce que les parties les plus exposées à l'usure — bien avant d'être entièrement hors de service — étaient déjà suffisamment détériorées pour ne plus se trouver en état de remplir convenablement leur office; or, comme l'extinction du four, seul remède possible à apporter à la cause perturbatrice, était une extrémité à laquelle on ne se résignait que très difficilement, on prolongeait autant que possible la durée du four, malgré sa marche défectueuse, mais au grand détriment des produits fabriqués.

M. E. Baudoux a surmonté ces difficultés de la façon la plus heureuse ; voici, en leurs grandes lignes, les modifications qu'il a apportées dans la construction des fours à bassin :

Pour combattre le premier défaut il fallait disposer l'appareil de telle façon que les réparations partielles pussent être faites fréquemment, avec facilité et sans entraîner à de grands frais.

Pour réaliser ce desideratum, M. E. Baudoux a appliqué à ses fours à bassin une voûte entièrement suspendue par une construction en fer à laquelle se trouvent également rattachés les bas murs descendant jusqu'au niveau du verre en fusion, ainsi que les conduites de gaz et d'air du gazogène.

Tout l'appareil essentiel à la combustion constitue de la sorte un ensemble indépendant, laissant entièrement libre le bassin proprement dit dont les parois, continuellement refroidies par l'air extérieur, résistent mieux à la corrosion du bain de verre en fusion.

De plus, les parois, étant toutes facilement accessibles, peuvent être réparées sans autre démolition que celle des parties à remplacer et sans éteindre le four. Dans la plupart des cas, ces réparations peuvent même être faites sans arrêter le travail.

Grâce à cette construction très simple et très naturelle comme conception, mais extrêmement hardie si l'on considère les grandes dimensions des fours (23 mètres de longueur sur 6 m. 50 de largeur), on peut assurer que les fours à bassin auront une durée pour ainsi dire indéfinie, ou du moins que cette durée sera aussi longue que celle des parties les moins exposées, ce qui est la limite naturelle à la durée de tout système.

Le premier four construit en 1884 à l'usine de M. Baudoux, à Jumet, n'a subi que l'extinction forcée de cinq mois à la suite des malheureuses grèves de 1886 et le Rap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

porteur, dans une visite qu'il a faite à l'usine, a pu constater qu'il fonctionnait encore en 1890 avec une entière perfection.

Le second défaut reproché aux fours à bassin — le défaut d'homogénéité — était très grave, on pouvait même craindre qu'il ne fût inhérent au système lui-même. On l'attribuait au mouvement continuel du verre qui, dans les fours de ce genre, coule constamment du point de renfournement au lieu du travail.

Pour parer à cet inconvénient, opérer un mélange plus intime des couches supérieures et des couches inférieures et éloigner ainsi les deux points extrêmes du four, M. Baudoux a été amené à augmenter considérablement la profondeur du bain de verre ; la pratique a démontré qu'il fallait atteindre au moins 1 m. 30 au lieu de 0 m. 80, hauteur des anciens fours, et que cette hauteur pouvait même avantageusement être dépassée.

Enfin, pour combattre le troisième défaut, il ne suffisait pas de dégager le bassin pour en rendre la réparation partielle plus facile, car bien avant que les briques, qui constituent les parois du four, soient hors d'usage, elles sont détériorées superficiellement et la partie corrodée laisse aux matières non fondues un passage que les barrages intérieurs, flottant sur le bain de verre, ne peuvent plus fermer.

Les parties non fondues venant par suite trop tôt dans le compartiment du soufflage altèrent la qualité des produits bien avant l'usure du bassin, de là le fonctionnement défectueux de l'appareil.

Dans les fours ordinaires les barrages flottants sont maintenus par des arrêts fixes faisant corps avec les murs du bassin. M. E. Baudoux a substitué à ces arrêts fixes des obstacles libres, flottant également sur le bain de verre, lesquels, placés à la suite les uns des autres le long des murs, forment un véritable revêtement intérieur avec saillies contre lesquelles viennent se fixer les barrages.

En même temps que ceux-ci se trouvent maintenus transversalement dans la partie du four qui leur est assignée pour en composer les compartiments intérieurs, ils maintiennent à leur tour les arrêts flottants contre les parois. Ces pièces flottantes forment dans leur ensemble un véritable bassin mobile, profond de 0 m. 50, dont les parois sont toujours renouvelables au fur et mesure de leur usure.

Telles sont les modifications capitales apportées par M. Baudoux dans la construction des fours à bassin, modifications que la pratique a complètement sanctionnées et qui ont assuré au nouveau système un succès définitif.

Indépendamment de ces améliorations, M. Baudoux a introduit dans l'outillage de la fabrication des verres à vitres divers perfectionnements qu'il avait fait figurer à l'état de dessins et de plans à l'Exposition et que le Rapporteur a pu voir fonctionner avec plein succès à l'usine de Jumet

Les canons fabriqués avec le verre des fours à bassin sont généralement plus fragiles, plus sensibles, supportent plus difficilement les brusques changements de tem-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pérature auxquels ils sont exposés en entrant dans le *stracourt* (étendrie) que les verres obtenus avec la fabrication en pots, ce qui occasionne une casse assez grande. M. E. Baudoux est parvenu à réduire cette casse à moins de 2 p. 100 en adaptant au four d'étendage un appareil tout nouveau, *la ferrasse rotative*, dont voici la description sommaire :

A l'entrée ordinaire des canons dans les stracourts vient se raccorder une buse circulaire en maçonnerie dont la voûte est appuyée sur deux bas-murs concentriques. Le bas-mur extérieur repose sur les fondations tandis que l'autre est supporté par une armature en fer et descend jusqu'à une hauteur de 0 m. 10 du pavement de la buse, de façon à permettre au bras de la ferrasse de circuler dans la rainure restée libre.

La voûte du stracourt, au lieu de reposer à la manière ordinaire sur un mur assis, est maintenue par un mur suspendu au moyen d'une taque en fonte qui se trouve à la même hauteur que l'armature en fer du bas-mur de la buse.

Cette taque en fonte est maintenue elle-même par trois tirants prenant leur point d'appui sur un système de poutrelles placé au-dessus de tout l'appareil et supporté par trois colonnes qui se trouvent placées en dehors de l'espace circulaire parcouru par les bras de la ferrasse, en sorte que la ferrasse peut tourner continuellement dans le même sens.

La poussée de la voûte du stracourt est contre-balancée par une entretoise en fonte qui prend son point d'appui sur une poutrelle verticale reliée par des tirants aux ancrages opposés de la voûte.

La ferrasse proprement dite se compose d'un axe vertical tournant auquel se trouvent reliés des bras (quatre à l'usine de Jumet) destinés à supporter les canons.

Cette disposition permet de n'introduire les canons dans le four qu'après les avoir progressivement échauffés pendant un temps assez long puisque trois canons se trouvent toujours sur les bras de la ferrasse et circulent graduellement depuis l'ouverture de chargement jusqu'à l'entrée chaude du stracourt; ils n'ont donc plus à souffrir des transitions brusques de température qui sont par le fait supprimées.

Dans le travail ordinaire des anciens fours, le fendage des canons était laissé aux soins du souffleur et du cueilleur qui le confiaient à des hommes spéciaux; dans plusieurs usines, en Belgique, notamment, le fendage se pratique au *ferret* dans la halle du four et les canons sont portés, tout fendus, aux étendries par des gamins

L'emploi de ce personnel nouveau, peu intéressé à la conservation des pièces, est une cause de casse.

Pour y porter remède il fallait arriver à ne fendre les canons que dans les étendries, car, d'une part, le transport des canons non fendus peut se faire facilement sans grand danger de casse par les gamins et, d'autre part, le fendage dans les stracourts peut être mieux contrôlé et partant beaucoup mieux fait.

Pour arriver à fendre les canons dans les étendries il fallait trouver un mode de fen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dage plus commode que celui qui consiste à employer un ferret rouge, entraînant la construction d'un four spécial dans les étendries.

L'usage du diamant ou de la roulette d'acier pouvait à la rigueur satisfaire, mais il devait être restreint aux verres minces, le fendage des fortes épaisseurs laissant toujours beaucoup de casse par ce système.

M. E. Baudoux a utilisé les courants électriques pour cette opération. A cet effet, il a construit un appareil très simple à l'aide duquel le fendage des verres de toutes épaisseurs s'obtient par l'échauffement d'un fil métallique porté au rouge par un courant électrique.

L'opération est si simple qu'elle peut être faite par le gamin d'étendrie lui-même avant l'introduction du canon dans le tourniquet du stracourt, ce qui supprime, pour ainsi dire, le fendage ou du moins l'ouvrier spécial destiné à cette opération.

L'importance des travaux de M. Baudoux est incontestée, aussi est-ce à l'unanimité que le jury lui a décerné la plus haute récompense qui fût à sa disposition.

M. F Gadrat (médaille d'argent). — A exposé des appareils pour le soufflage du verre permettant l'emploi de cannes de toutes dimensions; des appareils à mouler *en roulant;* des appareils à souffler les très fortes pièces; des machines à couper les becs de burettes, marchant à la main ou à la pédale, et des outils divers : pontils à verrou; pontils à déclenchement; fers-ciseaux, etc.

Tous ces appareils sont bien construits, leur emploi permet à l'ouvrier d'obtenir avec facilité une très grande régularité dans le travail; plusieurs d'entre eux suppriment l'aide du *gamin.*

M. Ch. Lespadin (médaille d'argent). — Moules et outillage pour la verrerie. A présenté une presse dite *presse à ressorts,* offrant de grandes facilités pour le centrage des différentes parties des moules et dans laquelle la pression se trouve très bien régularisée par l'adjonction de ressorts.

Les coussinets du porte-noyau et des autres pièces mobiles permettent de « rattraper » le jeu.

Cette presse, d'une très grande puissance, convient au moulage des grosses pièces.

De plus petites presses à levier ordinaire ou à levier courbe montraient de très bonnes combinaisons réduisant au minimum l'effort à dépenser tout en le rendant à peu près uniforme pendant toute la durée de l'opération.

Une très belle collection de moules pour la verrerie et la cristallerie complétait l'exposition de cette maison et montrait sa bonne fabrication.

MM. R. Regnault et C^ie^ (médaille d'argent). — Exposaient un four de verrerie modifié dans lequel la grille a été agrandie et disposée de façon à pouvoir brûler une forte quantité de combustible (2,200 kilogrammes par vingt-quatre heures pour un four à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

treize pots) tout en permettant un décrassage et un tirage faciles, au-dessous du sol de l'atelier.

Le mur du fond de ce four (pont de Boëtius) est refroidi par un courant d'air qui circule dans de longues galeries (49 mètres); cet air, par son passage, s'échauffe à une très haute température (environ 400 degrés) avant d'arriver dans le damier.

Les cheminées du four sont disposées dans les piliers extérieurs.

M. Regnault est parvenu à transformer les fours ordinaires en fours à gaz sans les démolir, le remplacement d'une arcade et d'un pilier est seul nécessaire pour opérer la transformation.

Cette maison, créée depuis la dernière Exposition, est très appréciée pour sa fabrication de pièces réfractaires pour fours de verrerie, moufles, creusets en terre d'Andenne, etc. Le jury a récompensé les efforts qu'elle a faits en lui accordant une médaille d'argent pour sa première exposition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VII

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE LA FABRICATION DU GAZ.

Nombre des exposants : 13.

France	11
République Argentine	2

MÉDAILLES D'OR.

M. Paul Audouin	France.
Compagnie continentale pour la fabrication des compteurs à gaz	France.
Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz	France.
MM. André Coze	France.
Giroud et Cie	France.
Singly (Paul de) et Cie	France.

Médailles	d'argent	2
	de bronze	4
Mentions honorables		1

L'industrie du gaz, qui avait organisé une si intéressante exposition de ses diverses applications dans le pavillon spécial édifié pour elle dans les jardins du Champ de Mars, avait négligé de présenter dans la classe 51 les perfectionnements apportés dans son outillage depuis 1878; quelques exposants ont seuls répondu aux pressantes sollicitations du comité d'admission. Cette abstention a été regrettée par toutes les personnes qui s'intéressent à l'industrie du gaz et qui croient avec juste raison que, tant au point de vue de l'éclairage qu'à celui du chauffage, le gaz répond à trop de besoins et est susceptible de tant d'applications non encore réalisées pour que l'avenir de cette belle industrie soit directement menacé par la concurrence de l'électricité.

M. P. Audouin (médaille d'or). — Dans la partie de ce rapport relative à la céramique, nous avons apprécié la part importante qui revient à M. P. Audouin dans l'ap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plication aux usages métallurgiques des matériaux éminemment réfractaires; il nous reste, pour achever l'étude des objets présentés par cet ingénieur, à dire quelques mots sur les perfectionnements qu'il a apportés au condensateur qu'il a inventé en collaboration avec M. E. Pelouze et qui a valu à ses auteurs une médaille d'or à l'Exposition de 1878.

Le principe sur lequel repose la construction de cet appareil est bien connu et peut se résumer ainsi : la condensation de toutes les particules liquides entraînées mécaniquement par les gaz ou les vapeurs s'opère instantanément au contact d'une veine gazeuse de très faible diamètre (1 millim. 1/2) contre un plan fixe placé à une distance égale au diamètre.

Divers perfectionnements ont été introduits à l'appareil tel qu'il était exposé en 1878. Le plus important est celui qui a été réalisé en 1887 et qui a permis de rendre l'appareil absolument parfait en modifiant la construction des cloches condensatrices et en les établissant démontables. Cette modification remédie aux inconvénients résultant de l'obstruction des trous qui se produisaient auparavant au bout de peu de temps avec certaines houilles.

La construction actuelle permet d'effectuer le nettoyage de la partie active de l'appareil en quelques minutes.

Il n'est pas exagéré de dire que l'invention de MM. Pelouze et Audouin a rendu les plus grands services à l'industrie du gaz en ce qui concerne la partie du travail relative à l'épuration, partie des plus importantes au point de vue de l'économie et de la salubrité. Le gaz, ainsi débarrassé de toutes les particules goudronneuses impossibles à retenir jusque-là, s'épure facilement, en sorte que les ouvriers chargés de ce travail n'ont plus à souffrir d'aucune incommodité dans une opération anciennement très pénible.

Dans ces conditions, on conçoit que cet appareil ait été adopté dans presque toutes les usines à gaz de France et de l'étranger où plus de 500 de ces condensateurs sont actuellement en service.

M. P. Audouin présentait également un appareil destiné à faire l'essai rapide des houilles et de toutes les matières susceptibles de servir pour la fabrication du gaz d'éclairage, dans des conditions toujours identiques de température et de pression et en évitant toute cause de perte inhérente à la nature des éléments constitutifs des appareils distillatoires.

Cet appareil permet de faire l'essai d'une houille sous le rapport du rendement en gaz, en coke et de déterminer son pouvoir éclairant en moins d'une heure; il donne en même temps des indications précieuses au point de vue de l'épuration plus ou moins facile du gaz.

Cette méthode d'analyse, qui peut être également appliquée au contrôle de la fabrication journalière, est très estimée et a été adoptée dans diverses usines à gaz.

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Compagnie anonyme continentale des compteurs à gaz (médaille d'or) — Parmi les appareils très nombreux relatifs à l'industrie du gaz construits par la Compagnie continentale, il y a lieu de citer ceux que la Compagnie a perfectionnés ou a créés pendant ces dernières années; en première ligne, nous devons indiquer le compteur à mesure invariable et non siphonnable.

Ce compteur à mesure invariable, que le dernier perfectionnement apporté par la Compagnie a rendu pratique et d'un emploi courant, réalise un progrès considérable.

La mesure du gaz, dans les compteurs ordinaires, est rigoureusement exacte pour un certain niveau de l'eau dans le compteur, niveau déterminé à l'avance et par construction; mais si, pour une cause quelconque, ce niveau vient à baisser, la capacité du volant augmente et le mesurage n'est plus exact.

Le compteur, dans ce cas, débite plus de gaz qu'il n'en a enregistré. C'est alors au détriment de la Compagnie du gaz. Si, au contraire, les employés de la Compagnie gazière surchargent le niveau normal de l'eau, niveau qui a été déterminé pour que le mesurage soit exact, la capacité du volant diminue et le compteur enregistre un volume de gaz supérieur à celui réellement débité et, cette fois, l'erreur est au détriment de l'abonné.

Il y avait là nature à discussion continuelle entre vendeur et acheteur.

Dans le compteur à mesure invariable, aucune contestation n'est possible; ce compteur donne toujours la mesure exacte du gaz débité, quel que soit le niveau de l'eau dans le compteur.

Le volant de ce compteur se compose d'un double volant (deux volants concentriques placés sur le même arbre) dont l'un reprend une partie du gaz débité par l'autre, de telle sorte que le gaz mesuré est la différence des volumes débités par ces deux volants.

Dans ces conditions on conçoit que, si pour un même abaissement du niveau de l'eau, le volume de chacun de ces deux volants augmente de la même quantité, leur différence, c'est-à-dire le volume du gaz mesuré, sera constante ou invariable quel que soit le niveau de l'eau.

Aucune erreur ne peut plus alors être commise, pas plus au détriment de l'abonné qu'au détriment de la compagnie gazière.

L'emploi de ces compteurs à mesure invariable ne s'était pas généralisé autant qu'on eût pu le croire, étant donnés les avantages qu'ils présentaient, à cause de la difficulté de niveler les compteurs.

Le perfectionnement de la Compagnie continentale consiste à assurer, d'une façon fatale, l'établissement du niveau de l'eau. Aussi, depuis la prise du brevet, ce compteur à mesure invariable a-t-il été adopté par presque toutes les compagnies de gaz, qui se sont évité ainsi tous les ennuis de contestations dues à l'imperfection de l'appareil qui établit le compte de chacun.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appareil régulateur de courant pour moteurs à gaz. — L'emploi des moteurs à gaz pour petites industries et pour l'éclairage électrique s'étant beaucoup généralisé pendant ces dernières années, on avait, à l'emploi, reconnu que les moteurs qui ne s'alimentaient pas d'une façon continue produisaient dans les canalisations des variations brusques de pression et provoquaient ainsi des oscillations dans les flammes des brûleurs alimentés par ces mêmes canalisations. On avait tout d'abord interposé entre le moteur et la conduite principale une poche en caoutchouc qui, en emmagasinant du gaz, formait volant et devait atténuer les effets du moteur. Mais, suivant l'élasticité du caoutchouc de la poche et suivant la pression du gaz dans la poche, il fallait à chaque instant régler à la main l'admission du gaz dans cette poche.

La Compagnie continentale a construit un appareil dans lequel l'admission du gaz dans la poche de caoutchouc se règle automatiquement; il n'y a donc plus, une fois l'appareil mis en place et réglé, à s'occuper ni du fonctionnement du moteur, ni des variations de pression dans la canalisation.

L'appareil se règle de lui-même et annihile complètement les fluctuations que produit le moteur.

L'appareil se compose :

D'une poche en caoutchouc; d'un régulateur à cône fonctionnant comme un régulateur d'émission. Le tout est enfermé dans une boîte en tôle plombée qui protège les divers organes de l'appareil contre les accidents.

On peut, à l'aide de poids placés en quantité convenable sur la tige du cône de réglage, maintenir à peu près constante, dans la poche de caoutchouc, la pression qui convient le mieux au fonctionnement de l'appareil, diminuer, sur la membrane supportant le cône, les effets dus aux variations de pression dans la poche. Cette membrane est logée dans une chambre qui ne communique avec l'intérieur de la poche que par un orifice que l'on peut réduire à volonté à l'aide d'un robinet. Le gaz, pour établir l'équilibre de pression dans la poche et sous la membrane, devant passer par cet orifice réduit, s'écoule très lentement, et, par suite, les mouvements du cône sont très lents. Dans ces conditions, aucune oscillation ne peut être perçue dans la canalisation au delà du régulateur de pression.

La Compagnie continentale exposait aussi un mouvement en sautoir monté sur un compteur de 40,000 mètres cubes par vingt-quatre heures.

Ces compteurs, placés dans les usines à gaz, indiquent à chaque instant la quantité de gaz fabriqué au moyen de tambours sur lesquels sont imprimés des chiffres qui, se présentant devant des lumières pratiquées dans une plaque, doivent former le nombre de mètres cubes que le compteur a enregistré. La position des chiffres en face de ces lumières doit donc être parfaitement bien déterminée et exacte pour que deux chiffres successifs d'un même tambour n'apparaissent pas chacun de moitié dans la lumière, ce qui amènerait une indécision dans la lecture.

Le mouvement à sautoir construit par la Compagnie continentale, par un ingénieux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mécanisme, ne permet pas de déplacement partiel des tambours, et les divers chiffres composant le nombre à lire se présentent bien toujours sur une même ligne.

Dans ces gros compteurs la transmission du nombre de tours du volant, qui est fonction du nombre de mètres cubes à enregistrer par le compteur, se faisait autrefois par l'arbre du compteur traversant un presse-étoupe afin d'être étanche pour éviter les fuites d'eau, fuites qui détériorent le mécanisme enregistreur.

La Compagnie continentale a présenté un mode de transmission supprimant le presse-étoupe et évitant ainsi les fuites d'eau. Elle a placé sur l'arbre du volant un aimant qui, fixé sur cet arbre, entraîne dans son mouvement de rotation un autre aimant présentant au premier des pôles de sens contraire. Ces deux aimants étant séparés entre eux par une plaque pleine formée d'un métal facilement traversé par les lignes de force des deux aimants, il n'y a plus alors aucune communication entre le compteur et le mouvement enregistreur : d'où suppression absolue des fuites.

Ce mode de transmission a surtout son application dans les compteurs qui doivent mesurer des gaz qui attaquent facilement le cuivre ou le bronze dont se composent en général tous les organes de l'enregistreur.

La Compagnie continentale a également exposé des appareils de laboratoire :

Appareil photométrique de Dumas et Regnault ;

Appareil à essayer les charbons de P. Audouin ;

Appareil à vérifier la bonne épuration du gaz ;

Indicateurs-enregistreurs de la pression du gaz ;

Régulateurs de pression ;

Compteurs de contrôle et d'expériences, appareils analogues à ceux des compteurs d'abonnés, mais dont la construction soignée permet une très grande exactitude dans les indications fournies.

Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz (médaille d'or). — Cette Compagnie est formée par la réunion des anciennes maisons Nicolas, G. Chamon-Foiret et C^ie^, A. Siry-Lizars et C^ie^, J. Willams et Michel et C^ie^.

Parmi les appareils exposés par cette Compagnie il convient de citer les suivants :

Un grand compteur de 60,000 mètres cubes par vingt-quatre heures destiné à la Compagnie parisienne du gaz (nouvelle usine du Landy). Ce compteur est composé d'anneaux cylindriques tournés à joints précis; il est muni de deux plateaux mobiles à l'avant et à l'arrière permettant la visite intérieure sans être obligé de démonter les grands plateaux.

Il est complété par un enregistreur à lecture directe, du système spécial à la Compagnie exposante et que la Compagnie parisienne a adopté en remplacement des anciens systèmes à engrenage et à sautoir.

Compteurs d'abonnés dits à *mesure invariable*. Ce compteur a été breveté en 1878 par MM. Siry-Lizars et C^ie^. Il se compose d'un volant ordinaire dans lequel sont fixés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quatre canaux ou cuillers parallèles deux à deux : deux sur le devant et deux sur le fond. Ces cuillers sont les organes de compensation. Voici leur fonctionnement : supposons que l'une des cuillers, au moment où son extrémité rencontre le niveau de l'eau, moment qui est aussi celui où l'admission du gaz cesse dans le compartiment qui la suit immédiatement. La cuiller, dans cette position, retient un volume de gaz égal à la partie dont elle émerge de l'eau, ce gaz est pris dans le compartiment qui se vide; c'est du gaz mesuré, il est retenu au moment où il allait s'échapper du volant pour aller aux brûleurs.

Le mouvement de rotation continuant, ce gaz est versé, par l'extrémité opposée de la cuiller, dans le compartiment qui est en train de se remplir. Si le niveau normal primitif vient à s'abaisser, l'extrémité de la cuiller, rencontrant le niveau un peu plus bas, emmagasine un plus grand volume de gaz; ce volume est celui d'un prisme équivalent en volume à celui qui est limité par les deux plans du niveau normal et du niveau abaissé.

On conçoit dès lors que la cuiller retiendra un volume de gaz d'autant plus grand que le niveau de l'eau sera plus bas et pourra compenser l'erreur due à l'abaissement de ce niveau.

Pour que cette compensation soit absolue, il faut et il suffit que la section de la cuiller soit égale à la somme des surfaces sur lesquelles se produit l'abaissement de l'eau dans le compartiment mesureur. Cette condition est d'ailleurs facile à réaliser.

Le fonctionnement de ce compteur est le même que celui des autres compteurs; il comprend seulement une disposition spéciale pour éviter les oscillations qui pourraient se produire dans la pression du gaz par suite des prélèvements des cuillers.

La solution adoptée pour rendre la mesure invariable (l'écart n'est que de 0.03776 p. 100) est très simple et très originale; elle a en outre le mérite de laisser libre le centre du volant pour permettre les mouvements de l'eau entrant et sortant des aubes du volant dans sa rotation; c'est pour ce motif que ce compteur n'absorbe pas plus de pression qu'un compteur ordinaire et que l'on peut établir des appareils de toutes capacités depuis 3 becs jusqu'à 500 becs.

Extracteurs à jet de vapeur pour usines à gaz. — Le principe de cet appareil est connu depuis de longues années, il repose sur l'entraînement latéral des fluides par les jets de vapeur. Bien que des appareils utilisant ce principe aient été proposés déjà à une époque éloignée pour l'extraction du gaz des cornues (brevets Bourdon et Arson), leur emploi ne s'était pas répandu.

Leur étude a été reprise à nouveau et l'on peut actuellement considérer cet extracteur comme pratique et courant. Sa construction ne présente aucune pièce délicate; il ne demande aucun entretien, n'exige aucune force motrice et peut être complètement abandonné à lui-même.

Le point délicat qui avait fait renoncer à l'emploi des appareils à jet de vapeur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est le réglage de l'aiguille; ce point a été très heureusement résolu dans le nouveau système par l'adjonction d'un régulateur à cloche agissant directement sur l'aiguille d'admission de la vapeur.

L'arrêt accidentel de la vapeur n'offre aucun danger, car le gaz continue alors à traverser l'appareil sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir immédiatement la valve du *by pass*. De plus on a constaté que l'humidité du gaz facilite l'action des épurateurs. Le seul défaut qu'on puisse lui reprocher, c'est sa grande dépense de vapeur. Il consomme 8 kilogrammes de vapeur à 5 atmosphères par centimètre de contre-pression et par 1,000 mètres cubes de gaz extraits, soit, pour un extracteur de 4,000 mètres cubes, une dépense de 576 kilogrammes de vapeur par vingt-quatre heures avec une contre-pression totale de 0 m. 18. Mais cette considération est tout à fait secondaire pour les usines qui utilisent la chaleur perdue des fours pour la production de la vapeur.

Nous n'insisterons pas sur les détails de la construction de cet appareil, car les injecteurs sont aujourd'hui très répandus et très connus, et celui dont il est question ne diffère des autres que par une étude très bien faite des formes de ses divers organes.

Le cadre restreint de ce rapport ne nous permet pas de faire une étude complète de tous les intéressants appareils qui ont arrêté l'attention du jury; nous mentionnerons seulement pour mémoire : les perfectionnements apportés sur les valves à vis et tampons; sur les tables d'essai et de réglage des compteurs ayant pour résultat de rendre absolument exactes les indications du gazomètre étalon et de donner toutes les garanties nécessaires pour s'assurer de l'exactitude des compteurs soumis aux essais; les régulateurs de pression d'émission; les laveurs mécaniques dits *Standart* pour l'extraction des sels ammoniacaux du gaz; un système de désembrayage pour extracteurs rotatifs permettant de ne jamais arrêter l'extraction; différents modèles d'indicateurs de pression; enfin une installation complète de photométrie, laquelle figurait dans le pavillon spécial du gaz.

La nouvelle compagnie soutient le renom des anciennes maisons qui la constituent, aussi le jury a-t-il été heureux de lui décerner une de ses hautes récompenses.

M. A. Coze (médaille d'or). — La distillation de la houille, dans les usines à gaz, s'opère dans des cornues affectant la forme de demi-cylindres, disposées horizontalement par séries dans des fours. Le chargement et le déchargement de ces cornues doivent être effectués rapidement devant la façade du four; ce sont là des manipulations extrêmement pénibles qui exigent de l'adresse et qui ne peuvent être confiées qu'à des ouvriers exercés.

Divers inconvénients résultent de cet état de choses : d'une part, les chauffeurs de cornues sont assez vite usés et leur recrutement devient difficile; d'autre part, leur salaire, relativement élevé, entre pour une très forte part (près des deux tiers) dans la main-d'œuvre totale exigée par la fabrication du gaz, et enfin dans beaucoup de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cas, ainsi que des circonstances récentes viennent encore de le montrer, les exigences des ouvriers peuvent devenir excessives et compromettre, sinon arrêter, le service des usines.

Si ce mode de chargement est resté à l'état rudimentaire et n'a reçu, pour ainsi dire, aucune modification depuis l'invention du gaz, c'est qu'il est très difficile de le changer sans modifier la construction des fours, laquelle a été l'objet de longues études, de patientes recherches en vue d'opérer la distillation avec le moins de combustible possible, et que la question du combustible est primordiale dans cette industrie.

Mais de ce que la question n'a pas encore été résolue, il n'en faudrait pas conclure qu'elle n'a pas été étudiée; les nombreux brevets qui ont été pris pour cet objet témoignent des recherches des inventeurs; malheureusement les solutions qui ont été proposées jusqu'ici n'ont pu fournir un travail convenable et économique, ou bien les dépenses de premier établissement et d'entretien se sont trouvées tellement élevées que les compagnies n'ont pu se résoudre à acquérir ces coûteux outils.

M. A. Coze a imaginé un système qui donne une solution pratique satisfaisante; le voici résumé en quelques lignes :

Parmi les divers modes précédemment essayés il en est un, celui qui consiste à employer des cornues verticales, qui permet un chargement et un déchargement faciles, mais auquel on avait dû renoncer parce que le gaz produit était obligé de traverser une couche très épaisse de combustible incandescent et perdait par suite une partie très notable de son pouvoir éclairant.

M. Coze s'est inspiré de ce système qui se rattache au système dit *système coulant* dans lequel les matières circulent par la seule force de la gravité, et il a repris une idée qui avait déjà été mise en pratique par divers inventeurs (Murdoch, John Gratou et Vincent Newton, en Angleterre, Compagnie des mines d'Anzin, en France), mais qui avait été abandonnée parce que les tassements et les gonflements de la houille pendant la chauffe produisaient des obstructions dans les cornues et rendaient nulle ou problématique la descente de la houille.

Il a pensé qu'en prenant une cornue ouverte aux deux extrémités, en lui donnant une inclinaison intermédiaire entre la verticale et l'horizontale, il pourrait trouver une position telle que la houille, jetée par la partie supérieure de la cornue, se répartirait en une couche d'une épaisseur uniforme et convenable.

En tenant compte de la densité moyenne de la houille ainsi que de la vitesse de sa projection dans la cornue, M. Coze est parvenu à trouver que l'inclinaison à donner aux cornues était de 29 à 32 degrés, c'est-à-dire voisine du talus naturel d'éboulement des matières qui doivent y être chargées, de telle façon que le charbon introduit suive dans la cornue une direction qui corresponde à la limite de son glissement.

La forme de la cornue n'a pas été changée; seule sa disposition dans les fours a été modifiée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Chaque four contient neuf de ces cornues inclinées ayant 3 m. 50 de longueur et 0 m. 630 de largeur; à leur extrémité supérieure elles sont rétrécies en hauteur et en largeur de façon à pouvoir s'emboîter dans un coude en fonte entouré d'un bain de sable, lequel a pour double fonction d'assurer l'étanchéité du joint de l'orifice de chargement et de permettre tous les jeux de dilatation.

Ce rétrécissement contribue aussi dans une certaine mesure à répartir le charbon en nappe mince sous l'influence de sa vitesse acquise pendant la chute.

Les ouvertures inférieures sont encastrées dans la muraille de face du four; c'est par elles que s'opère la décharge du coke lorsque la distillation est terminée.

Au-dessus du four circule un wagonnet destiné au chargement des cornues. Ce wagonnet est long et étroit; par son renversement il ne laisse glisser qu'une légère quantité de charbon et non une *masse;* son axe de rotation peut se déplacer et être guidé par une directrice qui permet, quel que soit son degré d'inclinaison de renversement, de laisser tomber le charbon sur le même point du coude en fonte par lequel s'opère le chargement.

Lorsque le wagonnet est dans la position horizontale et qu'il peut être manœuvré sur les rails, un clapet le ferme entièrement et empêche le charbon de se répandre; lorsque au contraire le wagonnet bascule, ce clapet, dont le centre de gravité l'éloigne de la verticale, laisse passer les menus morceaux, mais offre au contraire une résistance *molle* à la gailleterie qui, ralentie dans sa chute, va glisser avec le charbon de moyenne grosseur.

Le coude de chargement dont il vient d'être parlé se compose de deux parties en fonte: l'une, servant de trémie, est verticale et de section elliptique, l'autre se raccorde à la première et fait avec elle un coude de 120 degrés d'ouverture pour être emboîtée dans la cornue en forme de ⏢ ; elle est donc étroite à la partie supérieure et s'élargit après le point de chute indiqué plus haut pour le wagonnet tout en maintenant sur une certaine longueur un aplatissement qui a pour but de forcer le charbon à glisser sur le fond de la cornue.

Si le chargement est ainsi rendu très facile, l'opération du déchargement est elle-même bien moins pénible: il suffit, en effet, d'ouvrir la plaque de fermeture de l'orifice inférieur placée en avant des tubes menant le gaz au barillet et de glisser une raclette en fer dans la cornue pour rompre toute adhérence du coke avec la sole et pour permettre à la charge de glisser par son propre poids sur le sol de la halle sans nécessiter de la part de l'ouvrier aucune manœuvre pénible; en même temps les flammes et les fumées, au lieu de se déverser sur l'ouvrier et de l'incommoder, rencontrent l'orifice ouvert des cornues, formant cheminée, s'y engouffrent et vont se rendre à la partie supérieure où elles peuvent se dégager librement dans l'air.

Les fours Coze sont chauffés à l'oxyde de carbone, d'après les perfectionnements dus à M. Lencauchez.

Plusieurs avantages sont réalisés par le système Coze:

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le décarburage est rapide et simple, puisqu'il suffit de laisser les deux tampons de la cornue ouverts pour qu'il s'y établisse un violent courant d'air qui brûle le graphite déposé sans détériorer les parois, comme cela se produit si souvent par le décarburage à la pince.

Le chauffage au goudron peut être installé dans de bonnes conditions sans supprimer de cornues et enfin le coût d'installation, à égalité de puissance, se trouve diminué en même temps que la puissance de production se trouve accrue et que la main-d'œuvre est réduite (0 fr. 50 par 100 mètres cubes de gaz au lieu de 1 franc).

C'est en étudiant avec grand soin tous les détails donnés à la construction que M. Coze a pu faire entrer dans le domaine de la pratique industrielle un perfectionnement qui jusqu'alors avait été tenté sans succès; c'est là un résultat qui a vivement intéressé le jury; aussi, s'en référant aux renseignements qui lui ont été fournis de divers côtés et notamment par MM. P. Bérard et Lechatelier, qui ont examiné le fonctionnement de ces appareils dans les usines de Reims et de Suresnes et qui ont adressé un rapport fort élogieux à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (mai 1889), a-t-il décerné à M. A. Coze une médaille d'or pour le mode de distillation qu'il a imaginé et qui réalise une simplification très grande dans l'une des opérations les plus importantes de la fabrication du gaz, en même temps qu'il améliore considérablement les conditions pénibles du travail des chauffeurs des usines à gaz.

MM. Giroud et Cie (médaille d'or). — Cette maison, anciennement et fort honorablement connue, avait une exposition des plus intéressantes. Nous ne mentionnerons ici que les appareils nouveaux qu'elle a créés ou les modifications qu'elle a apportées à ses appareils depuis la dernière exposition.

Régulateurs de pression. — L'appareil présenté n'est qu'une modification de l'ancien régulateur Clegg; le perfectionnement apporté consiste à rendre l'instrument plus complet et plus sensible en annulant les effets de la pression d'entrée du gaz dans l'appareil ainsi que les changements de poids provenant de l'immersion des cloches dans l'eau. Grâce aux dispositions ingénieuses adoptées, il a été possible de faire sans aucun inconvénient des régulateurs de toute dimension sur le même type, depuis l'appareil d'un seul bec jusqu'à ceux destinés aux plus fortes usines à gaz.

Les chambres de contrôle du gaz de la ville de Paris ont adopté ces petits régulateurs pour obtenir une pression toujours constante et uniforme sur le bec d'essai.

Enfermé dans une enveloppe de fonte hermétique et mis en communication avec un bec de lanterne, il peut être placé sous le sol, sur les conduites mêmes du gaz pour y régler la pression suivant la manœuvre du bec qui communique, à l'aide d'un petit tube, avec le dessus de l'appareil; il permet ainsi de modifier la pression à distance.

A l'aide d'une autre disposition, on peut transformer l'appareil en un régulateur-niveleur pour compenser l'excès de pression dû à l'altitude à laquelle est placée la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

conduite de gaz. Dans ce cas, l'appareil est complètement clos; le gaz agit aussi bien en dessus qu'en dessous des cloches, mais ces dernières, ainsi que la soupape qui en dépend, sont portées par un flotteur calculé de façon à produire une aspiration équivalente à l'augmentation de pression due à l'altitude et qu'il s'agit de corriger.

Cette troisième variante du régulateur de pression est appelée à rendre de grands services à l'industrie du gaz en supprimant tous les inconvénients inhérents à l'éclairage des régions élevées. Une application de ce système a déjà été faite dans une usine du nord de la France.

Régulateur de pression pour eau et vapeur. — Le même principe qui a servi à la construction du régulateur à gaz a été appliqué aux conduites d'eau et de vapeur. On a seulement remplacé les cloches et le liquide formant lest par un piston métallique glissant, à frottement très doux, dans un corps de pompe bien alésé. Et, afin d'éviter toute fuite entre le piston et son corps de pompe, on a muni le piston de petites cannelures creuses, suivant le principe bien connu appliqué dans les machines pneumatiques.

L'application de ces régulateurs est déjà très répandue dans les ateliers de tissage et dans les teintureries.

Régulateur automatique à tuyau de retour. — Cet appareil est destiné à régler à distance la pression et l'émission du gaz d'après les fluctuations de pression qui ont lieu sur un point donné, éloigné du régulateur lui-même. Pour réaliser cet effet, la cloche motrice de l'appareil est mise en communication avec le point choisi comme centre à régulariser par un petit tuyau étanche appelé *tuyau de retour,* en sorte que toute variation de pression sur ce point est transmise au régulateur par ce tuyau et que l'appareil ouvre ou ferme le passage du gaz jusqu'à ce que la variation de pression causée au point central, choisi pour le point de départ du tuyau de retour, soit absolument corrigée.

Afin de permettre à l'appareil d'obéir au moindre changement de pression transmis par le tuyau de retour il a fallu, outre la sensibilité et la précision données à l'appareil, le rendre insensible aux pressions d'entrée et de sortie du gaz qui le traverse et leur enlever toute action sur l'état d'équilibre de la partie mobile.

D'intéressantes et très probantes applications de ce régulateur à distance ont été faites à l'usine municipale de Bruxelles sur deux conduites, l'une de 0 m. 600 et l'autre de 0 m. 800, ainsi qu'à la nouvelle usine à gaz de Bordeaux sur un tuyau de 1 mètre de diamètre.

On l'applique avec avantage dans les usines pour maintenir toujours dans les cornues de distillation une pression de 0 millimètre; dans ce cas, l'appareil est posé sur le tuyau de *by pass* de l'extracteur, le tuyau de retour est branché sur le barillet, au-dessus des cornues assez souvent éloignées de la salle des extracteurs, et tout chan-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gement dans la production du gaz — suivant l'instant de la distillation — ou dans la vitesse de l'extracteur est corrigé automatiquement, de façon à produire la pression constante de 0 millimètre dans le barillet et sur les cornues.

Avertisseur électrique de la pression. — Lorsqu'un tuyau de retour serait trop long et trop coûteux à installer, on y supplée par un fil électrique partant en ville de l'appareil inverseur du courant, mû par un flotteur auquel aboutit le tuyau de retour et se prolongeant jusqu'à l'usine où il est mis en relation avec un galvanomètre et une sonnerie — si l'on se contente d'un appareil avertisseur — ou à un rouage moteur du régulateur si l'on veut rendre l'appareil automatique.

Rhéomètres ou régulateurs de volume. — Cet appareil est trop connu maintenant pour avoir à insister sur son fonctionnement. On peut dire qu'il a produit une révolution dans l'industrie du gaz : la liste des nouveaux appareils qui en découlent — et que, seul, il a rendu possibles — suffirait à le prouver. De plus, sans lui, aucun des innombrables becs à air chaud, si sensibles aux moindres changements de pression, ne serait possible ou d'une utilisation pratique.

Appareils dérivant du rhéomètre sec ou humide :

Bec rhéométrique à verre ou à air libre. — Appareil composé d'un rhéomètre fixant une dépense déterminée d'avance et d'un brûleur.

Rhéomètres à robinet latéral permettant de modifier le débit jaugé par le rhéomètre; applicable à tous les brûleurs de chauffage et d'éclairage. Cet appareil est très employé dans les laboratoires où il rend de grands services.

Lampe carcel à gaz ou photorhéomètre, surmontée d'un bec donnant le pouvoir éclairant de 1 carcel-huile.

Étalon photométrique absolu par le gaz, pour la photométrie.

Analyseur de becs pour l'essai des brûleurs, et enfin le *Vérificateur du pouvoir éclairant* absolu du gaz.

Ce petit appareil est adopté en Hollande comme appareil de contrôle officiel entre les usines à gaz et les municipalités; il n'exige ni chambre noire, ni local spécial et sa précision et sa simplicité ne laissent rien à désirer.

Il est basé sur le principe connu que, pour des gaz de houille, tout changement de pouvoir éclairant se traduit par des changements dans la longueur de la flamme d'un bec-bougie ayant un trou de 0 m. 001 de diamètre.

Cet appareil sert aussi à déterminer la densité du gaz, et, en faisant traverser à ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dernier une éprouvette à potasse, on peut, par des densités déterminées avant et après cette opération, trouver la quantité d'acide carbonique contenue dans le gaz essayé.

Actuellement, plus de 500 de ces appareils fonctionnent dans les usines à gaz de France et de l'étranger.

Becs Phénix. — Ce bec, à air chaud, se compose d'un ou de plusieurs becs-papillons brûlant au-dessous d'un récupérateur de chaleur dans un globe fermé.

Il se distingue des becs similaires :

1° Par sa simplicité et sa solidité ;

2° Par la modicité de son prix ;

3° Par l'emploi, dans le récupérateur, de terres réfractaires judicieusement choisies qui peuvent alternativement passer de la chaleur rouge à la température ordinaire sans s'altérer, comme le font malheureusement tous les métaux, même le nickel pur ;

4° Enfin par la forme donnée aux terres réfractaires, qui transforme le récupérateur en réflecteur, en sorte qu'aucune partie de la lumière n'est perdue et que le sol se trouve partout également éclairé.

Dans les becs à 3, 5 ou 6 brûleurs disposés en cercle, il faut placer autour des becs et extérieurement un cercle en verre qui, tout en laissant au-dessous, entre le globe et lui, un passage convenable pour l'air venant alimenter l'intérieur des becs dans la couronne, redresse le courant d'air descendant et contribue à maintenir les flammes verticales en rejetant les pointes vers l'intérieur du bec.

Le récupérateur est combiné de façon que les produits de la combustion abandonnent toute la chaleur possible à l'air qui vient alimenter le brûleur.

Ce nouveau bec est en service à Paris et dans de nombreuses villes de France et de l'étranger.

Brûleur Wobbe pour le chauffage au gaz. — Ce brûleur, à air mélangé, est le plus simple des becs de chauffage ; c'est celui qui donne le meilleur rendement en chaleur. (Le mélange est d'environ 33 parties de gaz et 67 parties d'air.) Le brûleur à flamme latérale ne peut s'obstruer et se déforme difficilement. Il est construit en fonte inoxydable.

Il a déjà reçu un grand nombre d'applications, notamment dans les laboratoires.

MM. P. de Singly et C^ie^ (médaille d'or). — Les tuyaux en tôle et bitume exposés par cette maison montrent qu'elle soutient avec honneur la vieille réputation de l'ancienne Société Chameroy. Son outillage perfectionné lui permet de fabriquer des tuyaux de 1 m. 300 de diamètre qui, mis en service à Paris par la Compagnie parisienne du gaz, boulevard Ornano, contradictoirement avec des tuyaux en fonte de même diamètre, ont été reconnus supérieurs à ces derniers dont plusieurs furent cassés, alors qu'un examen minutieux ne révéla dans les tuyaux de Singly aucune fente, aucun aplatissement malgré les charges énormes supportées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Depuis 1878, cette Société a livré à la Compagnie parisienne du gaz plus de 26,000 mètres de tuyaux de 1 mètre de diamètre.

La bonne exécution de tous les produits exposés, qui sont des produits de fabrication courante, bien connus des ingénieurs gaziers, a décidé le jury à décerner une haute récompense à cette Société qui existe depuis plus de cinquante ans, qui a créé son genre d'industrie et qui a rendu de réels services aux compagnies gazières en mettant à leur disposition, pendant cette période, plus 12 millions de mètres de tuyaux.

MM. A. Léon aîné et frère (médaille d'argent). — M. Alexandre Léon, maître de forges dans les Landes, a eu l'idée de substituer aux fourreaux isolants, planchettes, drains ou poteries, employés jusqu'ici à la préservation des branchements métalliques placés en sous-sol, des tuyaux en bois qu'il a appelés *tuyaux flamands*, du nom de la forêt de Flamand qui fournit le bois nécessaire à leur fabrication.

Ces tuyaux sont toujours formés de deux pièces dont le profil varie suivant l'emploi auquel ils sont destinés; la partie supérieure, ordinairement plane, sert de couvercle à la partie inférieure dans laquelle se trouve ménagé l'évidement destiné à recevoir la canalisation. Le couvercle se cloue sur les bords du tuyau ou bien s'y fixe au moyen d'un fil de fer ou d'une agrafe; quelquefois, surtout quand on veut obtenir une étanchéité très grande, comme c'est le cas pour les canalisations électriques, on pratique sur les surfaces de contact des petites rainures dans lesquelles on coule du brai fondu au moment de la pose du couvercle.

En raison de leur solidité et de leur mode de construction, les tuyaux flamands assurent aux canalisations qu'ils renferment une protection très efficace contre les affaissements de terrain, les tassements de toutes sortes qui se produisent dans le sous-sol des villes; ils les garantissent contre l'oxydation, empêchent leurs déformations et leur assurent une durée beaucoup plus grande.

Employés pour les conduites de gaz, ils constituent un excellent moyen de découvrir les fuites qui peuvent se produire sur les canalisations principales ou dans leur voisinage et d'éviter des dépenses considérables en localisant les travaux de recherches, fouilles, etc.

Ils constituent en effet, ainsi que l'a constaté M. Ch. Rodberg, directeur de la Compagnie du gaz de Bordeaux, qui les emploie depuis plusieurs années, un véritable drainage partant de la conduite maîtresse et aboutissant aux dallottes établies sous les trottoirs, qui font dès lors l'office de ventouses permettant au gaz provenant des fuites de se répandre librement dans l'atmosphère au lieu d'atteindre les racines des arbres ou encore, ce qui est plus grave, de s'infiltrer dans les égouts ou dans les caves et de donner lieu à des sérieux accidents pouvant engager la responsabilité des compagnies gazières.

La longue conservation de ces tuyaux est assurée par l'injection des bois à la créo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sote; la pose est facile et rapide, la rigidité du réseau s'obtient au moyen de semelles placées sous le joint inférieur et par le chevauchement des joints du couvercle et de la partie inférieure lors de la mise en place.

En raison de leur faible poids ils peuvent être aisément fixés, en élévation, à la paroi des tunnels et des égouts, condition très précieuse pour les canalisations électriques.

Ils ont été également appliqués avec succès pour l'arrosage des arbres des promenades publiques. A cet effet, ils sont assemblés de manière à former un rectangle de 3 mètres de long sur 2 mètres de large portant, inséré sur l'un de ses côtés, le canal d'amenée de l'eau. Ce rectangle est enfoui à 0 m. 40 ou 0 m. 50 de profondeur, l'arbre en occupe le centre.

Pour permettre à l'eau de s'écouler extérieurement le fond du canal est percé, tous les 0 m. 10, de trous ronds de 0 m. 02 à 0 m. 03 de diamètre; de plus au fond de la tranchée, creusée pour installer ces tuyaux, on dépose une couche de cailloux.

Ce système offre de sérieux avantages sur les drains en poterie habituellement employés, d'une part parce que le rectangle en bois étant solidement assemblé aux angles ne se disjoint pas quand le sol se tasse en un point, n'est pas déplacé par les grosses racines en voie de croissance et que les ouvriers du gaz, des eaux et des égouts, en creusant des tranchées au voisinage des arbres, ne sont pas exposés à briser facilement ni à déplacer l'assemblage des tuyaux; d'autre part, les chances d'obstruction des tuyaux par les racines se trouvent diminuées; il est en effet prouvé, en physiologie végétale, que les racines éprouvent une grande répulsion à se diriger verticalement de bas en haut, et, comme elles ne peuvent pénétrer dans les tuyaux flamands que par les trous creusés à leur face inférieure, il y a beaucoup de chances pour qu'elles s'introduisent bien moins dans ces tuyaux en bois que dans ceux en terre cuite. Les expériences établies à Paris, avenue de Saint-Mandé, par le service des plantations de la ville de Paris, ont permis d'apprécier les avantages énumérés ci-dessus.

Les grandes forêts de pins maritimes des landes de Gascogne trouveront dans la fabrication des tuyaux flamands un important débouché pour leurs produits. Cette nouvelle industrie, outre l'intérêt qu'elle présente pour la région et les services divers qu'elle est appelée à rendre, est encore un élément de trafic assez important pour les nouvelles lignes de chemins de fer économiques qui viennent d'être créées, et c'est à ces divers points de vue qu'elle a fixé l'attention du jury.

M. Chevalet (médaille d'argent). — M. Chevalet a exposé différents appareils pour la concentration des eaux ammoniacales, la fabrication de l'alcali, le lavage du gaz de l'éclairage, etc.

Pour obtenir l'eau ammoniacale concentrée, M. Chevalet fait usage d'un appareil distillatoire quelconque; les vapeurs qui se dégagent de ces appareils sont dirigées dans une bâche en tôle renfermant l'eau ammoniacale qu'il s'agit de distiller. Ces

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vapeurs se condensent par barbotage tant que l'eau est froide ou tiède; quand l'eau devient trop chaude on la refroidit par un courant d'eau froide circulant dans un serpentin en plomb ou en fer placé dans la bâche. On obtient ainsi de l'eau ammoniacale concentrée exactement comme lorsqu'on fabrique de l'alcali volatil.

En opérant par les procédés qu'il a fait connaître, M. Chevalet produit des solutions ammoniacales pesant 18 à 20 degrés Baumé et contenant environ 25 p. 100 d'ammoniaque, c'est-à-dire une quantité d'ammoniaque égale à celle qui se trouve dans le sulfate d'ammoniaque bien sec.

Ces solutions sont liquides en été, mais cristallisent en hiver; elles peuvent être utilisées directement par les fabricants d'engrais.

L'appareil à distiller les eaux-vannes est à marche continue; il admet dans son intérieur des liquides très troubles; la distillation se fait d'abord sans chaux dans une colonne à plateaux, puis avec de la chaux dans deux chaudières dont l'une sert de bouilleur épuiseur. Les gaz ammoniacaux qui se dégagent par la distillation sont conduits dans un bain d'acide, le barbotage se fait sous une cloche qui recueille les mauvais gaz, qui de là sont conduits, par un tuyau spécial de la chaudière, d'abord dans un réfrigérant, puis sous le foyer où ils sont brûlés.

Les eaux chaudes qui sortent du bouilleur sont refroidies par les eaux-vannes fraîches qui parcourent un serpentin placé dans les eaux épuisées.

L'ensemble de cet appareil est bien conçu et présente des dispositions intéressantes.

Le laveur-condenseur de M. Chevalet repose sur le principe suivant déjà utilisé pour les colonnes distillatoires à alcool :

Si, sur une plaque en métal perforée de trous de 0 m. 001 à 0 m. 003 de diamètre, placée horizontalement, on fait couler de l'eau, puis que l'on fasse arriver un courant gazeux sous la plaque, le liquide ne traversera pas les trous de la plaque : il sera soutenu par le gaz qui vient en sens inverse; pour peu que ce gaz ait une pression suffisante, il traversera l'eau en barbotant et il sera d'autant plus divisé que les trous seront plus nombreux et plus petits.

Le gaz, en traversant la couche liquide, se lavera et abandonnera le goudron et les poussières charbonneuses qu'il entraîne toujours avec lui; en même temps l'ammoniaque qu'il contient se dissoudra dans l'eau.

Cet appareil réalise donc deux effets : un effet mécanique et un effet physique.

Deux plateaux perforés superposés suffisent à la rigueur pour produire le résultat désiré.

L'appareil se place avant les scrubbers ou colonnes à coke; il doit, autant que possible, être monté plus bas que celles-ci afin de permettre à l'eau d'arrosage du scrubber de passer directement dans le laveur-condenseur.

En réglant convenablement l'arrivée de l'eau d'arrosage dans le scrubber on peut obtenir directement des eaux ammoniacales pesant entre 7 et 8 degrés à la sortie du laveur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pression absorbée par ce laveur est de 0 m. 010 à 0 m. 015 par plateau de lavage dans les usines non pourvues d'extracteur; si l'on trouve la pression trop élevée, on n'emploie que deux plateaux ou même qu'un seul si l'on ne cherche qu'à arrêter le goudron; dans ce cas il faut employer des appareils plus grands.

Le laveur-condenseur peut trouver son emploi là où il s'agit d'arrêter des produits toxiques comme dans le grillage de certains minéraux sulfurés ou arsenicaux, la distillation du mercure, etc., ou bien lorsqu'il faut arrêter des poussières riches en métaux précieux comme dans le traitement des minerais argentifères.

Il se prête également bien au lavage des fumées de certaines fabriques comme les gaz des hauts fourneaux, des fours à coke, des fours à chaux, etc.

M. Chevalet exposait enfin un nouveau modèle de scrubber composé d'une colonne creuse en tôle, en fonte ou en poterie, suivant la nature des gaz à laver, dans laquelle se trouvent des cuvettes en fonte ou en poterie espacées les unes des autres de 0 m. 20 environ. Toutes ces cuvettes sont percées d'un grand nombre de cheminées ayant une hauteur un peu plus petite que celle des bords des cuvettes. Entre chaque cuvette on place des matières présentant de grandes surfaces: copeaux de bois, coke, pierre ponce, etc.

Le haut du scrubber est muni d'un siphon amenant l'eau de lavage; cette eau se répand dans la première cuvette, puis se déverse successivement dans toutes les autres en humectant les matières poreuses à grande surface qui les séparent; elle va en s'enrichissant jusqu'au bas de l'appareil d'où elle s'échappe par un siphon.

L'effet utile de cet appareil est beaucoup supérieur à celui des scrubbers ordinaires; cela tient à ce que l'eau est plus divisée et tombe moins vite au bas de la colonne, retenue comme elle l'est par les cuvettes étagées; aussi est-il facile d'en tirer des eaux ammoniacales titrant 7 à 8 degrés Baumé, c'est-à-dire contenant 50 à 60 kilogrammes d'ammoniaque par mètre cube et par suite directement transportables.

Il va sans dire que pour que ce scrubber produise tout son effet il est indispensable que le gaz y parvienne bien dégoudronné, sans quoi les goudrons ne tarderaient pas à se fixer sur les matières poreuses et obstrueraient les orifices; l'emploi du laveur-condenseur permet d'obvier à cet inconvénient.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VIII

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE L'INDUSTRIE DU PÉTROLE.

Nombre des exposants : 17.

Français	17

HORS CONCOURS.

MM. Deutsch (A.) et ses fils, membres du jury de la classe 51.
Rouart frères et Cie, membres du jury de la classe 50.

Médailles	d'argent	5
	de bronze	7
Mentions honorables		2

Le pétrole est connu depuis une très haute antiquité; déjà du temps d'Hérodote on en recueillait dans l'île de Zante. Dans l'Inde, en Perse, à Java, il existe des sources de pétrole connues depuis des siècles.

En Amérique et au Caucase, où l'on exploitait depuis de longues années des suintements naturels de cette huile, on ne s'en servait guère, sous des noms divers, que pour le pansement des plaies et des blessures : son application à l'éclairage était des plus restreinte, car, eu égard à la forte proportion de goudrons que cette huile renferme à l'état brut, elle répandait en brûlant une odeur repoussante et dégageait d'abondantes fumées.

Ce n'est qu'en 1859, après que le colonel Drake eût démontré tout le parti que l'on peut tirer des forages pour l'extraction du pétrole, que cette précieuse matière fit réellement son apparition dans l'industrie. De toutes parts, en Amérique, on vit alors se créer des usines pour le raffinage de l'huile; des forages furent entrepris sur tous les points, et les terrains pétrolifères centuplèrent de valeur.

En quelques années, la production atteignit des chiffres fantastiques; l'industrie du raffinage perfectionna ses procédés, multiplia son outillage, et le pétrole envahit le

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

monde. On peut dire, en effet, que l'éclairage au pétrole est aujourd'hui universel; quant aux dérivés et aux sous-produits de l'épuration de l'huile brute, ils ont trouvé dans l'industrie les applications les plus diverses.

Mais, s'il est aussi universellement connu par ses applications, le pétrole est encore à peu près ignoré quant à son origine et à son élaboration dans le sein de la terre.

Les procédés d'extraction et de raffinage, quoique très perfectionnés, étaient peu connus et n'avaient jamais figuré dans leur ensemble dans aucune exposition universelle : MM. Deutsch ont comblé cette lacune par leur remarquable exposition qui a jeté un jour complet sur cette grande industrie en même temps qu'elle a offert un vaste champ d'études au monde scientifique.

Au lieu de se borner à exposer des matières premières et des produits raffinés dans les classes 44, 45 et 51, ils ont voulu faire voir les opérations successives par lesquelles passe la matière première et présenter les différentes phases de l'exploitation minière, industrielle et commerciale du pétrole depuis l'origine jusqu'aux plus récentes découvertes.

Cette idée vraiment pratique a été réalisée de la façon la plus heureuse et la plus rationnelle par M. Deutsch (Henry) dans l'intéressante exposition du pétrole qu'il avait organisée au pont d'Iéna.

Cette exposition comprenait deux pavillons d'une surface de 500 mètres carrés chacun, situés à droite et à gauche du pont d'Iéna, reliés entre eux par une galerie d'une surface de 200 mètres carrés.

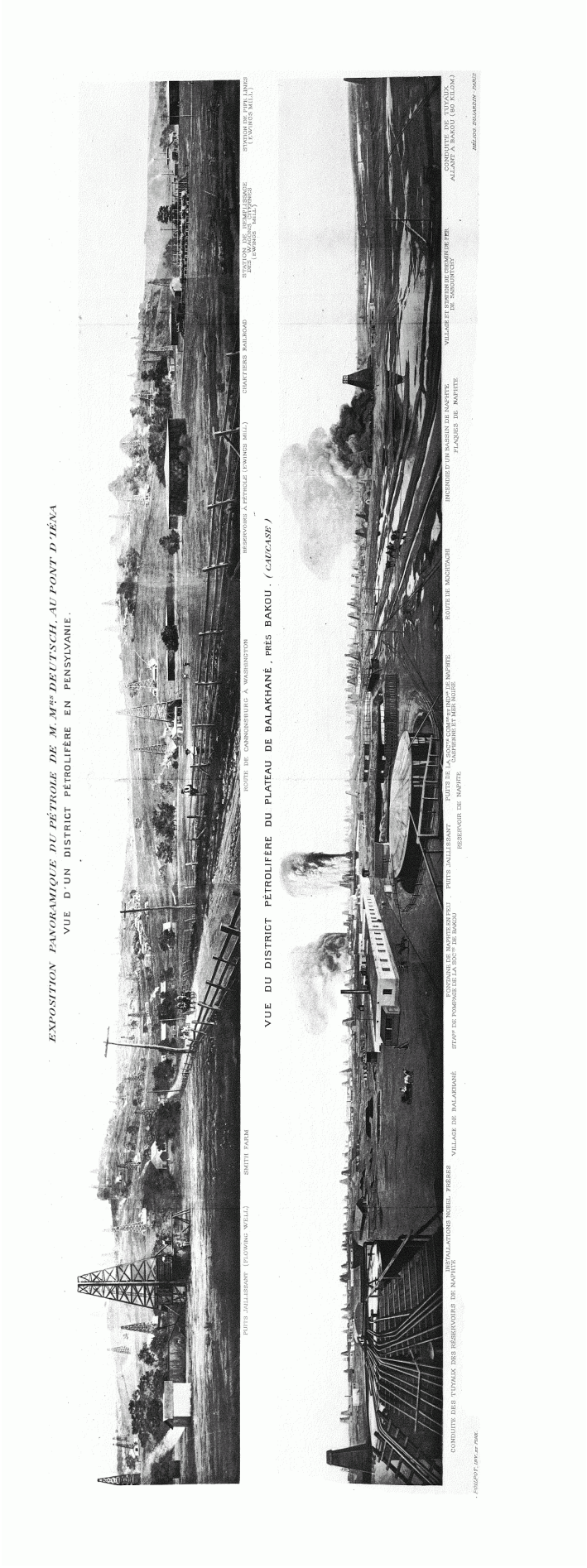
L'un des pavillons était réservé à l'exposition dite *panoramique*, concernant l'exploitation et le raffinage; dans l'autre se trouvait l'exposition des applications du pétrole à l'éclairage, au chauffage et à la force motrice.

Le pavillon de l'exploitation panoramique était constitué uniquement par un immense réservoir en fer tel que l'emploie cette industrie pour l'emmagasinage de ses divers produits. Ce réservoir d'une contenance de plus de 2 millions de litres avait un diamètre de 17 mètres et une hauteur de 7 mètres; il avait été construit sur les plans de MM. Deutsch par la maison Morille et Cie, d'Anzin. Son système de montage à l'aide de rivets en plomb le rendait facilement démontable. Son aménagement intérieur était des plus heureux : dans une galerie circulaire, au rez-de-chaussée, existait d'un côté une exposition dioramique où se trouvait groupée avec méthode toute une variété de dessins, de cartes géologiques, de documents statistiques, de photographies, de modèles en réduction, de plans d'appareils, etc.; de l'autre côté se trouvait une série de vues des établissements de MM. Deutsch en France et à l'étranger.

L'ensemble de ces deux galeries constituait une histoire complète du pétrole.

De cette galerie deux escaliers donnaient accès à une plate-forme d'où se déroulaient aux yeux du spectateur les vues panoramiques des deux gisements les plus importants du monde : celui du district de Washington (Pensylvanie) et celui du plateau de Balachané, près Bakou (Caucase).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Descendant de l'exposition panoramique, le visiteur s'engageait dans une galerie débouchant dans le pavillon des applications diverses du pétrole.

Dans ce pavillon, M. Deutsch (H.), avec le concours des exposants de la classe 27 (appareils et procédés de chauffage et d'éclairage) et de la classe 51, avait réuni un ensemble complet de toutes les utilisations du pétrole.

Il serait trop long d'entrer dans tous les détails de cette exposition. Nous ne pouvons qu'en relater les grandes lignes pour les passer sommairement en revue; nous les diviserons comme il suit :

Vues panoramiques;
Géologie et géographie du pétrole;
Exploitation des gisements;
Statistique de production;
Transport du pétrole : pompes, pipes-lines, tank-steamers, wagons citernes, etc.;
Matériel de raffinage;
Produits dérivés et sous-produits;
Appareils d'essai, de mesure, etc.;
Emballage, barils, manutention;
Applications du pétrole.

VUES PANORAMIQUES.

La vue d'Amérique reproduisait une exploitation dans le district de Washington, dans la région pétrolifère au sud de Pittsburg (Pensylvanie).

Là, dans une contrée vallonnée, couverte d'une végétation luxuriante, on voit se dresser de distance en distance des échafaudages ou *pilones* (*derricks*) indiquant la présence d'un puits.

On peut en voir sur la gauche une installation complète. Le derrick, constitué par une charpente en bois, sert à la manœuvre des outils de forage; à côté, un baraquement abrite la machine à vapeur destinée à actionner le balancier qui donne le mouvement à la tige de sonde ainsi que le tambour sur lequel s'enroule la corde pour remonter ou descendre les divers instruments.

Lorsque le forage est achevé, cette machine sert à actionner la pompe qui doit extraire le liquide du puits.

La cuve en bois que l'on voit à côté du derrick est destinée à emmagasiner l'huile à sa sortie du puits. Cette première cuve est une cuve de dépôt dans laquelle l'huile, avant d'être pompée dans les grands réservoirs, se débarrasse des terres, du sable et des matières étrangères entraînés avec elle.

Ces puits, analogues aux puits artésiens, sont forés à la corde et à la tige de bois.

Quelquefois, lorsque la couche pétrolifère est atteinte, l'huile jaillit par la pression des gaz; les puits sont dans ce cas des *flowing-wells*, c'est-à-dire des puits jaillissants;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le plus souvent, en Amérique, le liquide est extrait à la pompe; les puits s'appellent alors des *pumping-wells*.

De quelque manière qu'il ait été extrait, le liquide, après un temps suffisant de dépôt dans la cuve en bois, est pompé dans les réservoirs d'emmagasinage dont on aperçoit de nombreux spécimens dans le centre du panorama.

Ces réservoirs ont parfois des dimensions colossales et contiennent jusqu'à 35,000 barils.

De là le pétrole est dirigé soit par des wagons-citernes, soit par des lignes de tuyaux (*pipes-lines*) sur les raffineries ou sur les divers ports d'embarquement, New-York, Philadelphie, Baltimore, etc., pour l'alimentation des raffineries d'Europe.

On peut voir sur la droite du panorama la station de remplissage des wagons-citernes et la station de pipes-lines des *ewings-wells*.

Disons en passant que ces pipes-lines ont en Amérique un développement de près de 12,000 kilomètres.

Les opérations de forage ne sont pas toujours couronnées de succès: certains puits ne donnent que de l'eau salée; d'autres donnent de l'eau d'abord et du pétrole ensuite; enfin, dans certaines régions, notamment aux environs de Pittsburg, ils ne donnent que des gaz.

Ces gaz sont également recueillis et amenés par un réseau de tuyaux dans les centres industriels pour y être appliqués soit à l'éclairage, soit à divers usages et notamment à l'industrie métallurgique.

L'étendue des districts pétrolifères de l'Amérique est immense; ce sont des régions entières. Le nombre des puits forés jusqu'à ce jour dépasse 25,000. La vue panoramique donne une juste idée de ces régions privilégiées.

Ajoutons qu'à New-York et à Philadelphie sont installés des docks d'embarquement avec des réservoirs permettant d'accumuler des stocks considérables d'huiles destinées à l'exportation.

La seconde vue panoramique est celle du plateau de Balachané, près Bakou (Caucase), sur les bords de la mer Caspienne.

Là, au lieu d'être répandues sur une étendue immense, comme en Amérique, les exploitations se trouvent concentrées sur un espace de 25 kilomètres de côté.

L'extraction s'y fait comme en Amérique, à l'aide de puits artésiens; les derricks s'y dressent les uns à côté des autres, mais comme les terrains traversés sont d'une nature essentiellement éboulеuse, sables, argiles, etc., on tube les puits, qui sont de plus grand diamètre, et on emploie pour le forage la tige rigide au lieu de la corde comme en Amérique.

Les puits, ainsi qu'on peut en juger par la vue panoramique, sont extrêmement rapprochés; ils donnent parfois des quantités de naphte considérables.

Au Caucase, on abandonne un puits qui donne moins de 2,000 pouds ou 200 barils par jour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le liquide jaillit parfois à des hauteurs considérables. La vue panoramique représente une de ces fontaines jaillissantes, véritables fortunes pour leurs propriétaires, mais qui, souvent aussi, occasionnent de grands désastres.

L'aspect de ces fontaines est un spectacle grandiose, mais le naphte projeté par la pression des gaz souterrains entraîne avec lui du sable et des débris de roches, brise tout sur son passage et va retomber tout autour, ensevelissant sous des monticules de sable et de débris de rochers les exploitations voisines avec tout leur matériel.

Le naphte jaillit ainsi pendant des semaines, formant des ruisseaux qui se créent un lit à travers les sables pour aller former de véritables lacs dans les bas-fonds. Le côté droit du panorama montre un de ces lacs.

Le plus souvent cependant on capte le jet à l'aide d'instruments spéciaux (*calpats*) qui permettent de tirer le liquide au fur et à mesure des besoins.

Lorsque le jaillissement du puits se produit à l'improviste pendant le forage, l'huile s'enflamme au contact du feu des chaudières voisines, qu'on n'arrive jamais à éteindre assez à temps; le spectacle est alors terrifiant: le feu constamment alimenté par le liquide jaillissant du puits forme une immense colonne de flamme qu'il est impossible d'éteindre; il faut se borner à faire des digues pour préserver les exploitations voisines.

Ces gigantesques incendies durent souvent pendant plusieurs mois.

Les lacs de pétrole sont eux-mêmes fréquemment le siège de sinistres.

L'extraction du pétrole se fait dans les puits à l'aide de longs seaux (*jelonka*) munis d'une soupape inférieure dont le mouvement de descente et d'ascension dans le puits est produit par une machine à vapeur.

Certaines fontaines jaillissantes fournissent, pendant de longs mois, jusqu'à 30,000 à 40,000 barils de naphte par jour.

De même qu'en Amérique, l'huile brute est recueillie dans un premier réservoir où elle dépose les sables entraînés, puis elle est pompée dans de grands réservoirs d'emmagasinage. Son transport à Bakou s'opère soit par des lignes de pipes-lines, soit par des wagons-citernes.

Les produits raffinés extraits dans les nombreuses et importantes raffineries de Bakou, appelée aussi la « Ville-Noire », sont dirigés, partie en Russie, par la voie du Volga, partie à Batoum, par le chemin de fer transcaucasien, où ils sont mis en caisse ou chargés en *tank-steamer* pour être expédiés sur les ports du continent, de la Méditerranée et de l'Extrême Orient.

GÉOLOGIE ET GÉOGRAPHIE DU PÉTROLE.

On ne sait rien de précis sur l'origine du pétrole. Diverses théories ont été émises ; celle qui a cours en Amérique et que semblent confirmer les récentes expériences du chimiste allemand Engler admet que le pétrole résulte de la décomposition lente au sein de la terre des végétaux et des animaux antédiluviens; Berthelot et mendéleef

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

admettent au contraire que le pétrole est le résultat d'une synthèse opérée dans les profondeurs du globe : de l'acide carbonique infiltré dans les couches terrestres viendrait au contact des métaux alcalins et formerait des composés qui, soumis à l'action de la vapeur d'eau, donneraient le pétrole. Enfin, suivant de Humbold, il serait la conséquence de phénomènes volcaniques dont l'écorce terrestre est le siège.

Ces trois théories ont leurs partisans et leurs adversaires.

La géologie, d'ailleurs, ne peut donner aucune indication, car le pétrole se trouve dans les terrains les plus variés et dans les pays les plus distants.

Les principaux gisements se trouvent : en Russie, dans la région de la Caspienne et de la mer Noire; aux États-Unis, dans le voisinage des monts Alleghanys, dans l'Ohio, le Kentucky et l'Illinois, près du Pacifique; en Californie, au Canada, au Mexique, à Cuba, au Pérou, en Égypte, en Birmanie, en Alsace, en Hongrie, en Galicie, en Italie (province de Parme), etc.

C'est en Russie et aux États-Unis qu'il présente la plus grande abondance; aussi ces deux pays se disputent-ils le marché du monde.

On pouvait voir dans le pavillon du pétrole des cartes géologiques et géographiques de ces deux pays de production, ainsi que des coupes géologiques très intéressantes des terrains traversés par les puits dans ces deux régions pétrolifères.

Des échantillons de toutes les roches traversées tant en Amérique qu'au Caucase pour arriver aux couches exploitables formaient une collection du plus haut intérêt.

On pouvait voir par ces documents que le pétrole se trouve : en Amérique, dans les terrains siluriens; au Caucase, dans les terrains tertiaires; en Galicie, dans d'autres étages de la couche terrestre. Les gisements n'appartiennent donc pas à un horizon géologique bien déterminé.

Le pétrole est généralement accompagné de gaz hydrocarbonés, d'eau salée et de combinaisons sulfurées.

C'est à la présence des gaz accompagnant les gisements de pétrole que sont dus les suintements, les sources naturelles et les fontaines jaillissantes.

La profondeur des gisements est aussi extrêmement variable, non seulement d'un pays à un autre, mais encore dans une même région : à l'Exposition, le visiteur pouvait se rendre compte de ces différences en examinant la série des coupes de puits de l'Amérique, du Caucase et de la presqu'île de la mer d'Azoff.

Au Caucase, les puits sont moins profonds qu'aux États-Unis; tandis que dans ce pays les régions pétrolifères couvrent des territoires entiers, au Caucase, au contraire, la région, au moins celle exploitée jusqu'à ce jour, se réduit à un carré de 25 kilomètres de côté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

EXPLOITATION DES GISEMENTS.

Le pétrole ne manifeste généralement pas sa présence, même dans les gisements les plus abondants, sous la forme de sources jaillissantes.

Quelquefois, en forant des puits, on a vu, surtout au Caucase, des jets de pétrole s'élancer du trou de sonde jusqu'à une hauteur de 80 mètres, ou simplement se déverser tranquillement aux alentours. Ce sont des cas exceptionnels, et la méthode d'exploitation ordinairement suivie consiste à atteindre par des puits la couche pétrolifère pour retirer ensuite le pétrole au moyen de pompes.

Les Américains, appelés les premiers à mettre en valeur les richesses souterraines de leur territoire, ont imaginé dans ce but le matériel et les procédés de forage absolument spéciaux qui diffèrent notablement de ceux employés dans le forage des puits artésiens pratiqués en Europe et qui se recommandent surtout par la simplicité des organes et la grande facilité des manœuvres.

ÉTATS-UNIS.

MATÉRIEL DE SONDAGE DES PUITS.

Matériel fixe. — L'atelier de forage est une construction rudimentaire pour l'établissement de laquelle on utilise les bois que l'on trouve dans la localité; il sert uniquement à protéger les hommes et le matériel contre les intempéries.

Il se compose essentiellement d'un chevalement ou *derrick*, sorte de chèvre à quatre montants, dont la figure 11 indique suffisamment les dispositions.

Le sommet du derrick est placé au-dessus de l'axe futur du puits et porte une forte poulie qui doit servir à manœuvrer la tige de sonde.

Autour de cette charpente, on construit un hangar sous lequel on place une partie du matériel fixe comprenant la machine à vapeur, les treuils, les balanciers, etc. Ce hangar repose sur le sol, sans fondations, par l'intermédiaire de fortes semelles en bois.

La machine à vapeur et son générateur doivent être établis à une certaine distance du puits, une trentaine de mètres environ, afin d'éviter les explosions ou les incendies qui se produiraient en présence d'un dégagement de gaz.

La chaudière est ordinairement tubulaire; anciennement on employait beaucoup de locomobiles, mais on a renoncé à ces systèmes pour revenir aux chaudières fixes.

Lorsqu'une même exploitation renferme plusieurs puits voisins les uns des autres, il peut y avoir avantage à établir au centre un seul générateur qui fournit la vapeur aux machines des différents puits.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

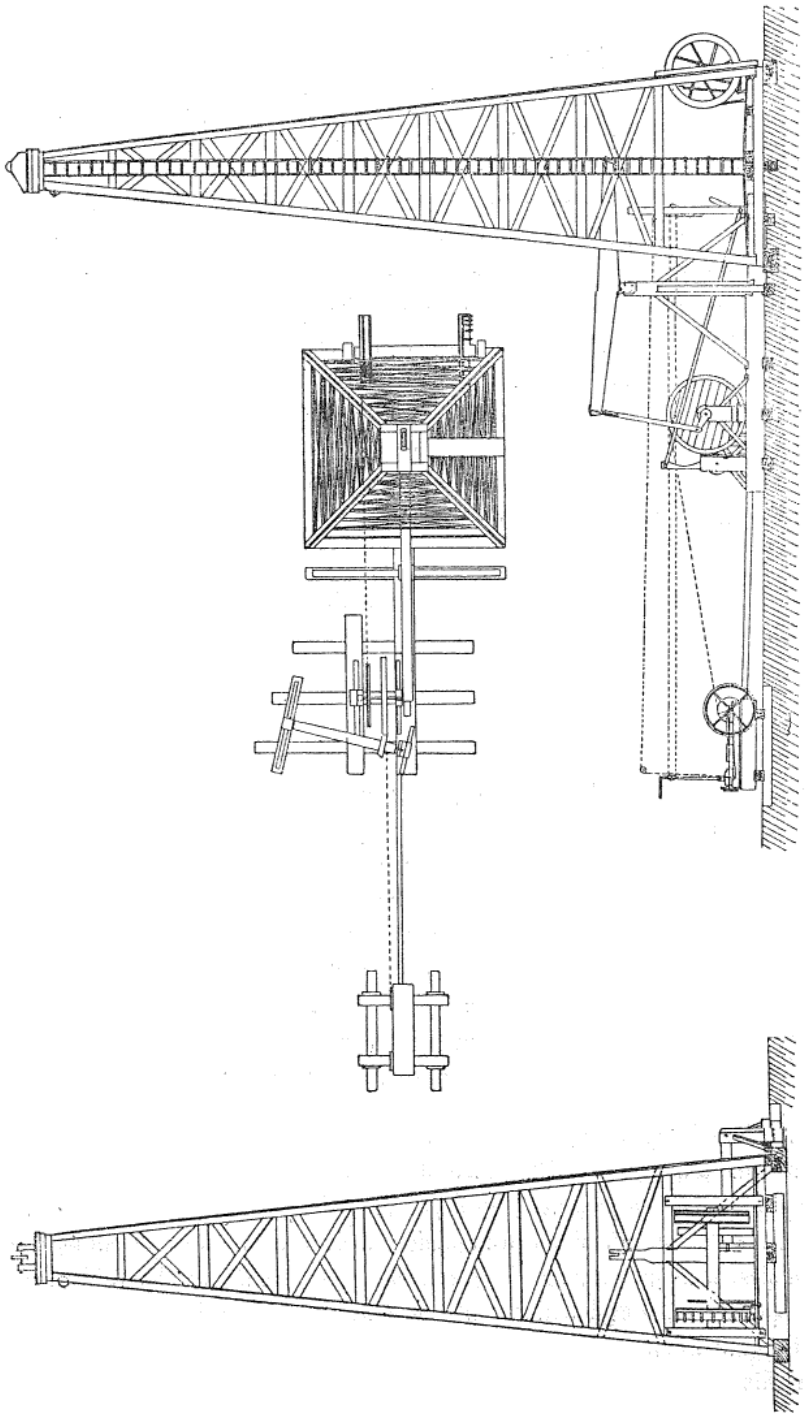


Fig. 11.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine, d'une force de 12 à 15 chevaux, peut marcher indifféremment dans les deux sens; par l'intermédiaire de sa poulie motrice, elle met en mouvement la poulie principale ou *band-wheel*, sorte de volant qui commande tous les organes de l'installation.

Le robinet d'admission de vapeur de la machine ou *throttle-valve* est actionné par une poulie à gorge, verticale, sur laquelle passe une corde sans fin appelée le *telegraph*, laquelle arrive au derrick et passe à cet endroit sur une seconde poulie qui la met à la portée du foreur et lui permet ainsi, facilement et sans quitter son poste, de manœuvrer le robinet d'admission de la vapeur, c'est-à-dire de mettre la machine en mouvement, de l'arrêter ou de modifier sa vitesse suivant les besoins du travail. Le changement ou *reverse-link* est également commandé du derrick par une corde.

Sur l'arbre du volant (*band-weel*), dont nous venons de parler, se trouve la poulie de commande du treuil (*bull-rope pulley*), qui sert à retirer les outils de forage, ainsi que la manivelle (*crank*), qui imprime au balancier un mouvement alternatif pour l'opération même du forage.

La transmission de mouvement se fait au treuil de levage par une courroie (*bull-rope*); elle est effectuée au balancier par le moyen d'une manivelle percée de six trous reliée à la bielle par un assemblage à broche (*wrist-pin*). Cet assemblage est placé dans l'un des six trous de la manivelle, suivant la longueur de la course qu'on désire obtenir.

La poulie principale peut entraîner aussi, par le tambour de friction, l'arbre du treuil de la pompe à sable (*sand pump*).

Les trois organes principaux, dont nous venons de parler (treuil de levage, balancier et pompe à sable), ne marchent jamais simultanément, leur embrayage et leur désembrayage se font très rapidement, grâce aux dispositions de détail adoptées dans la construction des machines.

Le treuil de levage sert dans les travaux préparatoires jusqu'à 60 ou 80 mètres de profondeur. Il est utilisé ensuite pour retirer ou descendre la tige de sondage au fur et à mesure de l'avancement du travail. Dans ces opérations, son mouvement est contrôlé par un frein à bandes (*bull-whell brake*).

Le balancier est soutenu par une chandelle munie de jambes de force; le mouvement alternatif dont il est animé permet de soulever ou de laisser retomber la tige de sondage.

Au-dessus de lui se trouve le poteau de tête (*headache-post*) destiné à protéger l'ouvrier qui est au bord du trou, dans le cas de rupture soit de l'assemblage à broche, soit de la bielle qui entraînerait une bascule du balancier sous le poids de la tige de sondage. Si le fait vient à se produire, le headache-post limite la chute du balancier à quelques pouces seulement.

L'embrayage ou le désembrayage du balancier ne peuvent s'opérer que lorsque la machine est arrêtée.

La pompe à sable est mise en mouvement ou arrêtée au moyen d'un levier réuni

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par une bielle au levier vertical qui fait appuyer plus ou moins le tambour de frictions sur le volant principal.

Nous verrons tout à l'heure comment, avec ces divers appareils, s'exécutent les manœuvres des outils.

Outils de forage. — Le forage s'exécute au moyen d'une tige métallique suspendue à une corde ou à un câble. Cette tige, dont le poids est d'environ 950 kilogrammes, se compose de deux parties distinctes placées l'une au-dessus de l'autre.

La partie inférieure comprend (fig. 12) :

1° Le trépan ou burin (*bit*) destiné à briser le roc. C'est une longue et lourde barre de fer taillée en biseau tranchant et se terminant en haut par une vis;

2° Une allonge inférieure (*auger-stern*), longue d'environ 8 pieds;

3° La pièce inférieure des étriers (*jars*).

Dans la partie supérieure de la tige, on trouve :

1° La pièce supérieure des étriers;

2° Une allonge supérieure (*sinker bar*);

3° La fourchette d'attache de la corde (*rope-sockel*).

Les étriers inventés en 1831 par Billy Morris servent à amortir les chocs dans les

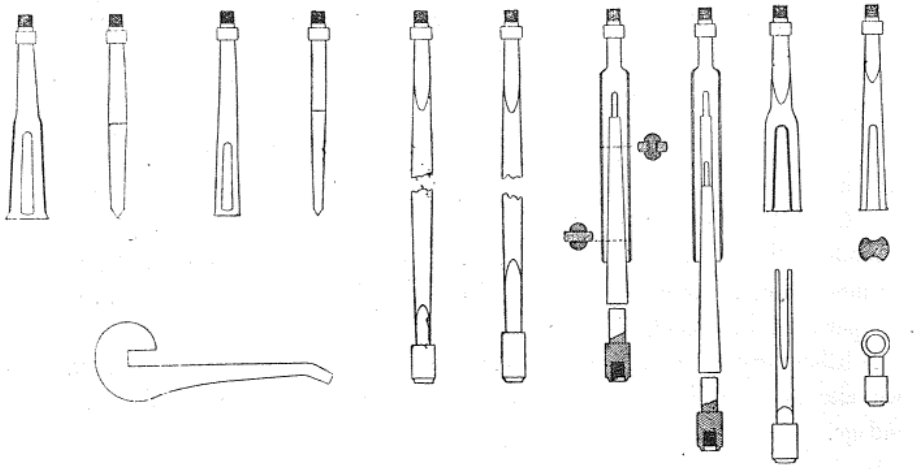


Fig. 12. — Outils de forage américains.

manœuvres de la tige de sonde et, par suite, permettent un avancement plus rapide en prévenant les accidents.

Ils ressemblent à deux anneaux plats de chaîne munis, l'un d'une vis mâle, l'autre d'une vis femelle; les rainures ont 21 pouces de longueur et les têtes 8 pouces de profondeur, laissant ainsi un jeu de 13 pouces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsqu'on relève la tige de sondage, les deux étriers s'écartent l'un de l'autre, de telle sorte que le déplacement de l'allonge inférieure est moindre que celui de l'allonge supérieure; au contraire, quand la tige retombe, les étriers rentrent l'un dans l'autre et empêchent l'allonge supérieure de recevoir le contre-coup du choc du trépan sur le roc.

Les six pièces qui composent la tige de sondage sont rattachées par des assemblages à vis mâle et femelle, la partie mâle présentant un renforcement sur lequel vient reposer la partie femelle quand le vissage est à fond.

De plus sur le renflement du trépan, sont ménagées, à deux hauteurs différentes et suivant deux diamètres perpendiculaires entre eux, deux paires d'épaulements. Les épaulements sont saisis dans la clef de retenue (*wrench*) qui maintient le trépan immobile et permet, quand on veut le remplacer, de dévisser l'allonge inférieure.

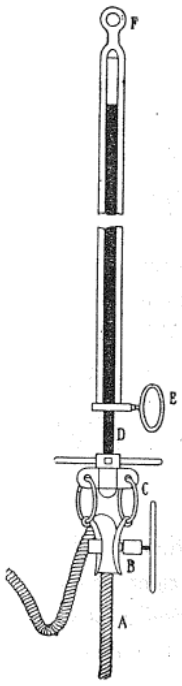


Fig. 13.

Pour empêcher la clef de retenue de tourner elle-même dans cette opération, l'extrémité de son manche est prise dans un ergot fixé sur le plat bord du trou de sonde.

Dans la période préparatoire, lorsqu'on fait le sondage à la corde, la tige de sonde est suspendue à la corde par l'anneau d'attache (*ring-socket*). Pour les profondeurs supérieures à 80 mètres, on se sert du balancier et la tige est soutenue par un câble qui s'attache à la fourchette (*rope-socket*) et est manœuvré par l'intermédiaire de la vis d'avancement (*temper screw*). Cette dernière pièce se compose de deux parties (fig. 13) :

1° Les griffes, qui saisissent le câble au moyen d'une vis de serrage;

2° La vis qui passe dans un écrou en deux pièces, à la partie inférieure de deux montants verticaux terminés en haut par un anneau.

Les griffes et la vis sont reliées par des anneaux.

Le temper screw est attaché par un crochet à l'extrémité du balancier; il se manœuvre au moyen d'un petit volant. On comprend qu'en tournant la vis celle-ci descend et, du même coup, fait avancer toute la tige de sonde qui lui est suspendue.

Voici les longueurs et les poids des différents outils dont nous venons de parler :

	Longueur.		Poids.
Trépan	3 pieds	3 pouces.	140 livres.
Allonge inférieure	30	//	1020
Étriers	7	4	320
Allonge supérieure	18	//	540
Fourchette d'attache	3	6	80

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant à la vis d'avancement dont le poids est de 145 livres, ses montants ont 1 pied 5 pouces sur 5/8 de pouce de section, sur 4 pieds 6 pouces de longueur; la vis a un diamètre de 1 pouce 3/8 sur 4 pieds de longueur.

Tous ces outils sont faits en acier ou en fer de Norvège de la meilleure qualité.

FORAGE DES PUITS.

Sondage à la corde. — La première opération consiste en un sondage à la corde. A ce moment la tige de sonde se compose uniquement de la tarière ou trépan (*drill*), de l'allonge inférieure (*auger-stern*) et de l'anneau d'attache.

La manœuvre s'opère de la manière suivante :

On passe sur la poulie du chevalement placée en haut du derrick, au-dessus du point où le puits doit être creusé, une corde assez courte dont on fixe une des extrémités à l'anneau d'attache. L'autre bout est laissé libre, après avoir été enroulé deux ou trois fois sur l'arbre du treuil de levage. Cela fait, on embraye ce dernier et l'on met la machine en marche.

Un homme placé devant le treuil saisit alors le bout libre de la corde et le tend légèrement de manière à appliquer la corde sur l'arbre du treuil; cette dernière se trouve entraînée dans le mouvement de rotation et la tige de sondage s'élève jusqu'au haut du derrick; il suffit alors de laisser aller la corde pour qu'elle se desserre et que la tige retombe.

L'élévation et la descente de l'outil se produisent ainsi par un mouvement de va-et-vient de la main.

Tubage. — Au bout de quelque temps il faut procéder à l'opération du tubage, consistant à introduire dans le puits un revêtement métallique qui se compose du coffrage supérieur (*drive-pipe*) et du tubage proprement dit (*casing*) : le premier est d'un assez grand diamètre et n'est pas très long, l'autre au contraire est étroit et descend beaucoup plus bas.

Le tubage est forcé dans le sol au moyen d'un mouton (*mall*) ou masse qui bat le tube; celui-ci est protégé par un fort chapeau (*heavy cap*) en fer contre les ruptures qui pourraient se produire sous le choc du mouton.

La manœuvre du mouton s'opère comme celle qui vient d'être indiquée pour la tige.

On continue ainsi jusqu'à ce que l'on ait atteint une profondeur suffisante pour que l'on puisse introduire une tige complète telle que nous l'avons décrite plus haut.

On interrompt alors le forage à la corde et l'on commence l'installation de la tige de sonde.

Installation de la tige de sonde. — Cette tige se manœuvre au moyen d'un câble; pour installer celui-ci on amène devant le derrick une bobine sur laquelle il est enroulé et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on attache son extrémité libre au bout de la corde qui était primitivement reliée à l'anneau d'attache ; en tirant sur cette corde on fait passer le câble sur la poulie du chevalement et on l'amène à l'arbre du treuil de levage sur lequel on la fixe.

A ce moment on met la machine en marche, le treuil tourne et entraîne dans son mouvement le câble dont on surveille l'enroulement avec soin.

Cela fait, on attache à la fourchette l'autre extrémité du câble qui pend au-dessous de la poulie de chevalement et l'on visse les différentes pièces de la tige de sonde, au bout les unes des autres.

Les joints une fois bien assurés, on laisse descendre la tige dans le puits en se servant du frein à bande. On place alors la manivelle du balancier, on élève la bielle et on l'emmanche à la broche sur laquelle on la fixe au moyen d'une clef et de coins. Cela fait, on suspend la vis d'avancement au crochet du balancier et on fait tourner le treuil de levage jusqu'à ce que la corde soit tendue et que les étriers aient pris leur position normale. On saisit alors le câble dans les griffes de la vis d'avancement que l'on assujettit fortement au moyen de la vis de serrage, et on le détache du treuil de levage.

La tige de sonde qui était précédemment suspendue à la poulie du chevalement se trouve alors portée par le balancier.

Il convient de laisser libre sur le plancher du derrick une longueur de câble de 15 à 28 pieds, de façon à assurer une liberté entière au mouvement de la tige. Lorsque celle-ci tourne dans le même sens pendant quelque temps, le bout libre s'enroule autour du câble, puis il se déroule lorsque l'outil tourne en sens contraire.

Cette précaution permet de donner au trou une forme circulaire.

Travail de la tige de sonde. — Ces opérations préliminaires étant terminées, le travail commence.

On met la machine en marche : le balancier, dans le mouvement de bascule qui lui est imprimé par le volant principal, fait alternativement monter et descendre la tige et par suite le trépan, qui broie la roche sous ses coups répétés.

A partir de ce moment le forage se poursuit nuit et jour, à moins qu'un accident ne vienne en rompre la monotonie. Deux équipes, composées chacune d'un foreur et d'un mécanicien forgeron, se relayent tour à tour.

Pendant que le balancier s'élève et s'abaisse le foreur fait tourner l'outil au moyen d'un petit levier engagé dans la vis d'avancement ; il surveille en même temps les étriers et agit à intervalles convenables sur la vis de manière à faire descendre la tige.

Lorsqu'on a donné à la vis d'avancement tout le déplacement qu'elle est susceptible de recevoir ou bien lorsque le forage avance assez lentement pour faire supposer que le trépan attaque des roches très dures et qu'il a besoin d'être affûté, le foreur arrange le câble sur le plancher du derrick de manière à ne pas craindre de nœuds et il avertit le mécanicien que tout est prêt pour la remontée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Remontée de la tige de sonde. — Le foreur embraye le treuil de levage et se porte rapidement au frein à bande; en même temps le mécanicien règle l'admission de la vapeur. La balancier et le treuil sont alors tous les deux en mouvement; mais, dès que tout le câble libre est pris, un des hommes arrête la machine tandis que l'autre maintient le treuil avec le frein. Le poids des outils se trouve ainsi transporté de la vis d'avancement sur la poulie du chevalement. Cette manœuvre exige de l'attention et une certaine expérience, car la moindre erreur produirait infailliblement un accident.

Il suffit d'un moment pour relâcher les griffes de la vis qui maintiennent le câble, desserrer la bielle de l'assemblage à broche et abaisser cette dernière. On enlève ainsi l'extrémité du balancier à laquelle la vis d'avancement est suspendue et on déplace le tout de manière à laisser toute liberté aux mouvements du câble et des outils. Cela fait, on remet la machine en marche et l'outil recommence son ascension sous l'action du treuil jusqu'à ce que l'extrémité de l'allonge inférieure apparaisse hors du puits; à ce moment on arrête la machine. On saisit alors l'épaulement du trépan à l'aide de la clef de retenue, dont on arrête le manche par l'ergot placé sur le plat-bord du trou de sonde; on prend l'épaulement de l'allonge inférieure avec une seconde clef, puis on introduit un fort levier dans un des trous pratiqués sur le plancher du derrick, suivant une circonférence ayant un rayon un peu inférieur à la poignée de la clef de retenue de l'allonge. Cette poignée étant appliquée contre le levier, les deux hommes agissent vigoureusement de manière à rompre le joint ou, en d'autres termes, à desserrer un peu l'assemblage à vis qui relie la vis et le trépan, la séparation complète n'étant effectuée que plus tard, et à la main, lorsque le trépan se trouve sur le plancher du derrick.

La clef de retenue étant enlevée, on remet la machine en marche, et le trépan sort du puits.

Curage du puits. — Cette opération s'effectue au moyen de la pompe à sable, sorte de cylindre creux, en fer galvanisé, dont la longueur habituelle est d'environ 6 pieds, mais qui atteint quelquefois 15 ou 20 pieds.

Ce cylindre est muni en haut d'un contrefort et en bas d'une soupape à tige (*stem valve*); il est suspendu à un câble de 7/8 de pouce de diamètre qui passe sur une poulie spéciale placée au haut du derrick et se rend ensuite au treuil de la pompe. Celui-ci est manœuvré, du derrick même, au moyen du levier à main et des leviers de transmission.

Il suffit d'appuyer légèrement sur le levier pour amener la poulie de friction en contact avec la poulie principale de transmission; le câble de la pompe s'enroule rapidement et celle-ci, qui est ordinairement remisée dans un coin, se trouve transportée et élevée au centre du derrick.

On abandonne alors le levier; le contact cesse entre les deux poulies, et la pompe descend dans le puits par son propre poids. La vitesse de la descente est réglée par la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poulie à friction que l'on applique soit contre la poulie principale, soit contre le poteau-frein.

Pendant cette opération le sable qui encombre le puits pénètre dans la pompe et la remplit en faisant fermer sous son poids la soupape inférieure. Aussitôt que l'appareil a atteint le fond, on admet la vapeur dans la machine ; on porte en avant le levier et on le maintient fermement dans cette position pendant que la pompe remonte avec rapidité.

Chaque fois que l'on retire la tige de sondage il est nécessaire de descendre la pompe plusieurs fois de manière à enlever toutes les poussières et les éclats qui sont dans le puits et à permettre, lors de la reprise du forage, que le trépan puisse agir directement sur la roche.

Le curage est effectué par un seul ouvrier; pendant sa durée, le mécanicien dévisse le trépan émoussé et le remplace par un outil nouveau, de telle sorte que, aussitôt le puits nettoyé, on peut redescendre la tige de forage et éviter toute perte de temps.

Lorsque le curage est terminé, on relègue la pompe sur le côté; on reprend les outils et on les amène, en agissant sur le frein, à une faible distance de l'ouverture du puits. On replace alors les clefs de retenue et, au moyen du levier, on serre à fond la vis qui réunit le trépan à l'allonge inférieure.

On enlève les clefs et on laisse descendre la tige dont on règle le mouvement par le frein à bande, puis le travail se continue de la même manière jusqu'à ce qu'un nouveau curage soit jugé nécessaire.

Prix d'un forage. — L'installation qui vient d'être décrite est celle adoptée dans les régions pétrolifères de la Pensylvanie où les puits ont une grande profondeur et où les outils qui servent à les creuser doivent être très robustes. Elle revient à environ 4,500 dollars.

Dans les districts de Franklin, Mecca et Belden, les puits sont peu profonds et exigent des appareils relativement simples et peu coûteux.

La dépense dans ce cas n'est guère supérieure à 1,500 dollars.

Dans la Virginie occidentale et dans le sud de l'Ohio, on emploie encore les systèmes économiques des premières années de l'exploitation américaine ; les frais sont alors très peu élevés, mais ces appareils primitifs disparaissent chaque jour et sont remplacés par les procédés plus perfectionnés décrits plus haut.

Au Canada, au contraire, le forage d'un puits de 475 pieds coûtait autrefois fort cher; on a cherché à réduire les dépenses, et l'on est arrivé à les ramener de 1,500 à 2,500 dollars.

Étant donnée la faible production des puits de cette région, ce résultat était nécessaire pour que l'exploitation pût devenir rémunératrice.

Torpillage des puits. — C'est le colonel Roberts (E.-A.-L.) qui, en 1862, eut l'idée de torpiller les puits à pétrole pour augmenter leur production. Les premières expé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riences furent faites à Titusville en 1865, mais l'utilité de l'opération ne fut complètement reconnue qu'en décembre 1866, lorsque le colonel eût obtenu du puits Wodui, dans la ferme Blood, qui jusqu'alors n'avait jamais donné de pétrole, une production quotidienne de 20 barils, après un premier torpillage, et de 80 barils, après un second.

Le nouveau procédé se répandit très vite dans la Pensylvanie; on y a recours aujourd'hui dès que la production d'un puits devient insuffisante. On prévient alors la Compagnie.

Le monopole du torpillage appartient, en effet, à une compagnie spéciale qui s'est fait concéder le droit exclusif de posséder et d'employer les matières explosibles nécessaires à l'opération et réalise ainsi des bénéfices considérables, et l'on prépare des tubes d'étain de 10 pieds environ de longueur sur 5 pouces de diamètre, se terminant par une base conique, de façon qu'ils puissent toujours porter les uns sur les autres lorsqu'on en superpose plusieurs dans un puits.

La nitroglycérine dont on se sert exclusivement pour le torpillage est transportée dans des bidons placés dans des compartiments capitonnés, sur une voiture légère et bien suspendue, à laquelle on fait cependant bien souvent prendre, avec une insouciance étonnante, des chemins de montagne très difficiles.

Au début, la charge d'un puits était de 4 à 6 quarts (13.5 à 20.5 livres, équivalant comme action à 108 et 162 pounds de poudre ordinaire). Elle a été successivement augmentée et portée à 20, 40, 60, 80 et même 100 quarts.

Lorsque l'employé de la Compagnie est arrivé au puits, on suspend un tube d'étain à une corde que l'on fait passer sur une poulie et qu'on enroule sur un treuil. On remplit ce tube de nitroglycérine et on le laisse descendre au fond du puits; on en fait ensuite autant pour un second, puis un troisième, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'on ait atteint la charge nécessaire.

On retire alors la corde et on laisse tomber dans le puits une pièce de fonte pesant environ 20 livres et d'une forme telle que, pendant sa chute, elle ne subisse aucun ralentissement contre les parois du puits. Le choc de cette pièce sur la tête du dernier tube détermine l'explosion.

Sous l'action de la décharge, la roche se déchire et donne issue à des gaz emprisonnés ou met le forage en communication avec des cavités voisines remplies de pétrole.

A la surface, on n'entend immédiatement aucun bruit, lorsqu'il s'agit de puits de 2,000 pieds, même quand on emploie 80 quarts de nitroglycérine, ce qui représente environ 2,160 livres de poudre ordinaire.

Au bout de quelques minutes (entre trois et dix), on perçoit un bruit sourd qui augmente graduellement. L'huile s'élève peu à peu et finit par atteindre le haut du puits d'où elle s'échappe bientôt avec violence entraînant avec elle des fragments de roches et de tubes, qui sont projetés quelquefois jusqu'à une hauteur de 100 pieds.

Cette sorte de fontaine dure pendant cinq à dix minutes pendant lesquelles le débit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

total est de 25 à 30 barils. L'huile ainsi évacuée est naturellement perdue; elle se répand sur le derrick qu'elle noircit et qu'elle met en grand danger d'incendie.

Dispositions générales d'un puits en service. — Dans le forage des puits à pétrole, on est exposé à rencontrer :

1° Des eaux provenant des couches supérieures et tendant à pénétrer dans le puits;

2° Des dégagements de gaz naturel inflammable et pouvant former avec l'air des mélanges explosifs.

Pour combattre les infiltrations d'eau on employait autrefois le sac de graines de lin (*seed bag*), c'est-à-dire un fourreau en toile placé autour du tubage et rempli de graines de lin : cette graine se gonflait en se mouillant et formait alors un joint étanche entre les parois du trou de sonde et le tube. On a conservé souvent cette pratique, mais, depuis quelques années, on tend à compléter et à remplacer le sac de graines de lin par une garniture spéciale (*packer*) constituée par une sorte de cuir embouti, monté sur une bague en fer autour du tubage; la pression de l'eau suffit pour assurer l'étanchéité de ce joint.

Pour assurer le départ du gaz naturel, la partie supérieure du puits forme une chambre complètement fermée, la tige de la pompe ou la conduite de pétrole en sort par un presse-étoupe, tandis qu'un ou plusieurs tuyaux disposés au voisinage du plancher permettent de recueillir le gaz et de l'utiliser au chauffage ou de le laisser perdre dans l'atmosphère en évitant tout accident.

Dans les puits établis en 1861, d'après l'ancien système, le tube, dans les premiers terrains traversés, est protégé par un coffrage en bois, puis il se prolonge seul à l'intérieur du trou de sonde; les eaux d'infiltration sont arrêtées par un sac de graines de lin; le tuyau d'extraction renferme la tige de la pompe et finalement la pompe qui aspire et refoule le pétrole fourni par les sables. Le jeu laissé entre la tige de la pompe et le tube offre un passage suffisant au liquide qui se rend au réservoir par la conduite de décharge.

Dans les puits type de 1868, on trouve un cuvelage en tuyaux de fonte et, en outre, un tubage qui descend à une plus grande profondeur. A l'intérieur se trouve le tuyau d'extraction avec la tige de la pompe et la pompe.

Les infiltrations d'eau sont arrêtées par le cuir embouti et le sac de graines de lin. Le gaz naturel peut s'échapper par l'espace libre ménagé entre le tubage et le tuyau pour se rendre à la conduite de gaz.

Le pétrole est aspiré et refoulé jusqu'à la conduite de décharge; enfin, une pompe auxiliaire, dont le tuyau est logé dans le coffrage et dans l'espace libre laissé entre le tubage et les parois du trou de sonde, permet de prendre l'eau nécessaire au service de la chaudière à vapeur et aussi à vider le haut du puits.

Dans les puits type de 1878, le tubage en fer est descendu jusqu'au-dessous des terrains aquifères, et le diamètre du puits est alors réduit à partir de l'extrémité infé-

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

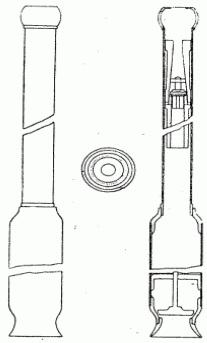


Fig. 14. — Tarière à piston pour le forage dans les sables mouvants.

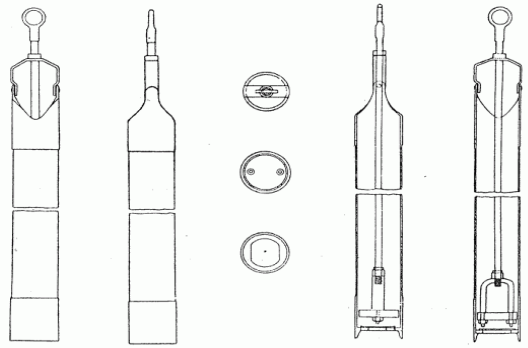


Fig. 15. — Tarière pour l'extraction des pierres.

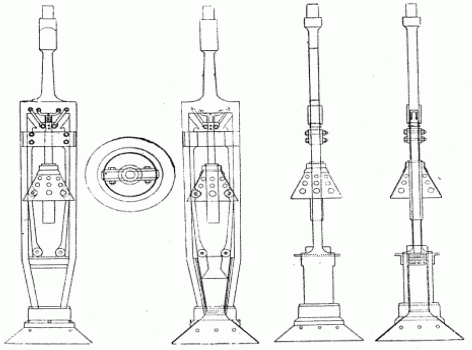


Fig. 16. — Appareil pour extraire les tiges.

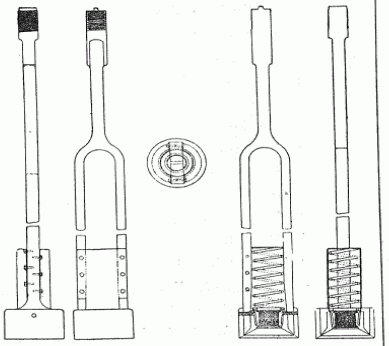


Fig. 17. — Cloche pour les tiges rondes.

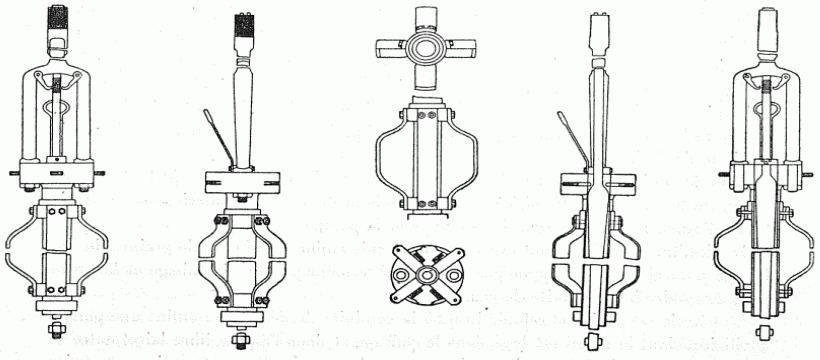


Fig. 18. — Coupe-tuyaux.

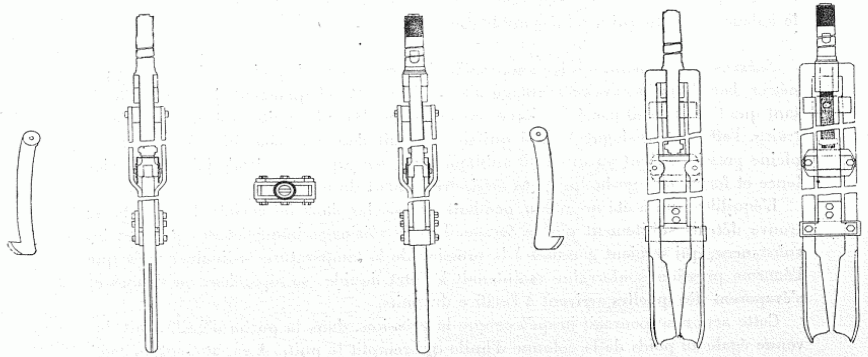


Fig. 19. — Appareil à vis pour arrondir les tuyaux aplatis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rieure du tubage qui arrête complètement les infiltrations d'eau. Les puits de ce type sont dits *forés à sec*.

Enfin les puits du type de 1880 sont agencés de telle sorte que le pétrole sorte sans le secours d'une pompe.

Les infiltrations d'eau sont arrêtées par un cuir embouti d'un système spécial. Ces puits sont forés jusqu'au fond du diamètre du tubage, lequel s'arrête au-dessous des terrains aquifères de la surface.

Lorsqu'un puits est foré jusqu'aux terrains pétrolifères, il peut arriver que le pétrole, sous la pression du gaz naturel, jaillisse ou coule à la surface du sol.

Cette circonstance, qui se rencontre assez fréquemment au Caucase, est relativement rare aux États-Unis où les puits se comptent par milliers sur des espaces restreints.

Dans les puits à tubage, on enlevait l'eau qui garnissait l'espace compris entre le tubage et le tube d'extraction ; cette eau se trouvait remplacée par l'huile qui s'élevait ensuite graduellement.

Les puits forés à sec, dans lesquels par conséquent on n'a pas d'eau à extraire, ont amené la méthode de pompage ; on pompe tant qu'il y a de l'huile dans le puits.

Quelquefois, lorsqu'on n'obtient plus de pétrole, on applique des pompes à air, au moyen desquelles on produit un vide partiel dans le tubage, ce qui permet à l'huile renfermée dans les roches latérales de s'écouler dans le puits.

Quel que soit le mode d'extraction employé, la tige de la pompe est actionnée par le balancier même qui a servi pour le forage.

Submersion d'un puits. — L'ancien mode de forage, dans lequel on laissait l'eau pénétrer dans le puits, avait l'avantage d'empêcher tout échappement de gaz et d'huile tant que l'eau n'avait pas été enlevée par la pompe. Dans les puits forés à sec, au contraire, l'effet est analogue à celui qui se passerait dans une chaudière à vapeur, en pleine pression, dont on ouvrirait subitement la soupape ; le pétrole jaillit avec violence et forme une gerbe qui peut atteindre le haut du derrick.

L'équilibre qui a été maintenu pendant des siècles dans les cavités de la roche se trouve détruit subitement par le forage dans le voisinage immédiat des puits et les substances, qui seraient gazeuses à la pression de la température ordinaire, mais que l'énorme pression souterraine maintenait à l'état liquide, se répandent en dehors et s'évaporent dès qu'elles arrivent à l'orifice du puits.

Cette action se poursuit jusqu'à ce que la pression, dans la poche d'huile, soit devenue égale au poids de la colonne d'huile qui remplit le puits. A ce moment on commence à se servir de la pompe et on l'emploie tant que la pression du gaz renfermé entre le tubage et le tube d'extraction est suffisante pour maintenir l'huile ; dès qu'elle devient trop faible, on applique à la partie supérieure du tubage et sur un des tubes latéraux une pompe à air à l'aide de laquelle on arrive encore à extraire de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

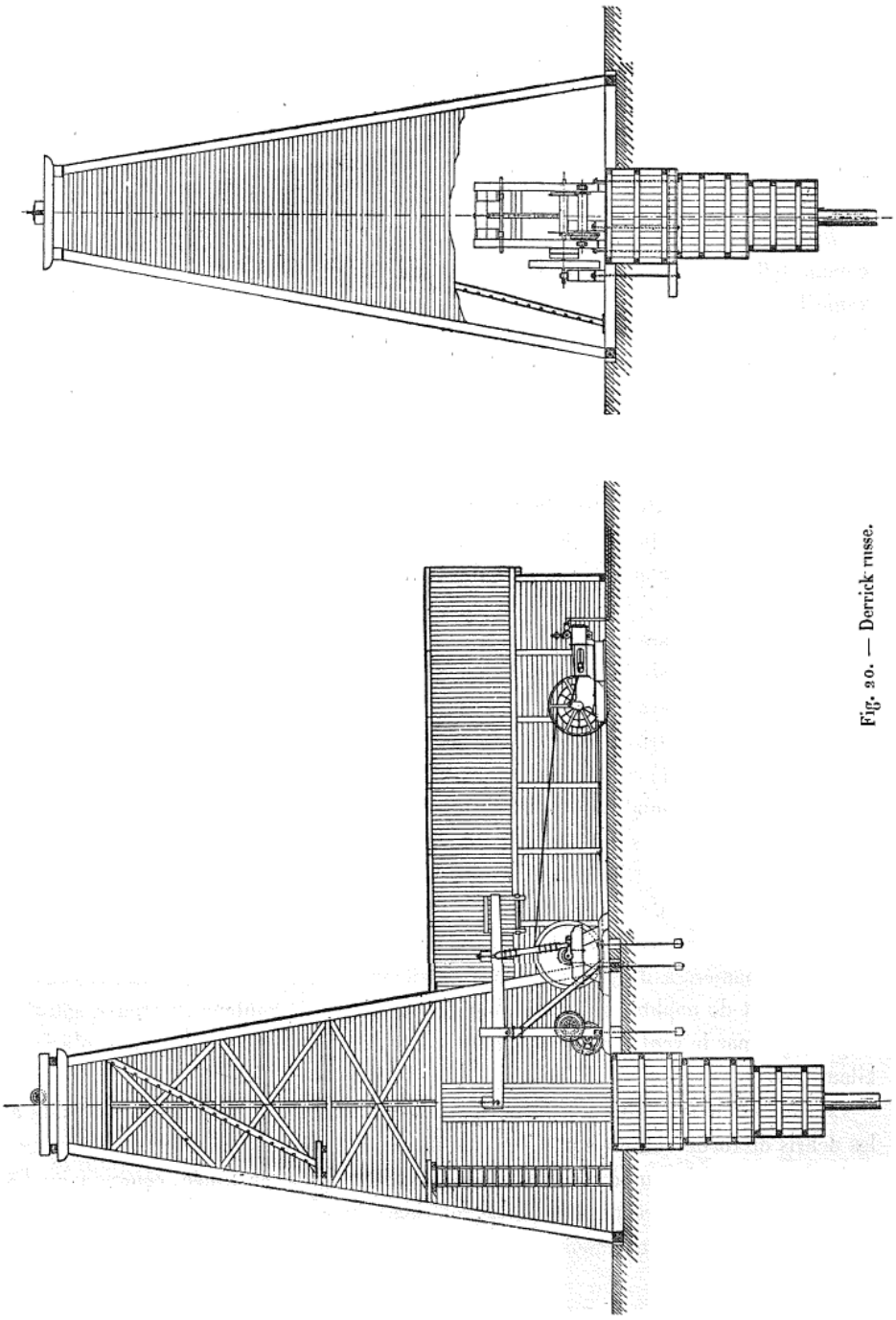


Fig. 20. — Derrick russe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'huile, mais au bout d'un certain temps ces manœuvres deviennent infructueuses et il reste dans la roche une certaine quantité d'huile qu'on ne peut extraire.

C'est là l'inconvénient du procédé de forage à sec. L'idée de submerger ou de noyer les puits, c'est-à-dire d'y laisser entrer l'eau, s'est alors présentée comme un moyen d'améliorer le rendement, mais l'expérience a démontré qu'une semblable opération était très hasardeuse; aussi n'y a-t-on recours que fort rarement.

Bouchage des puits. — La submersion, volontaire ou non, des puits est considérée comme tellement préjudiciable aux exploitations voisines que dans l'État de Pensylvanie les lois établissent une pénalité pour le propriétaire qui laisse ouvert un puits inexploité; il doit le boucher avec du sable pour empêcher les eaux de la surface d'atteindre les terrains pétrolifères.

EXTRACTION DU PÉTROLE AU CAUCASE.

Au Caucase, la nature essentiellement ébouleuse des terrains oblige à recourir à de grands diamètres de tubage; le matériel de forage (fig. 14, 15, 16, 17, 18, 19) devient dans ce cas comparable à celui des puits artésiens ordinaires.

Le derrick (fig. 10) qui surmonte le puits est entièrement protégé par une carapace en planches pour garantir l'exploitation contre les vents violents qui sévissent généralement sur les bords de la Caspienne.

Comme dans ce pays les puits sont souvent jaillissants, on fait usage d'un outil spécial (le *kalpak*) pour maîtriser les jaillissements.

Le kalpak (fig. 21) est un tronçon de tube en fonte muni d'un clapet à tiroir, lequel se manœuvre horizontalement à l'aide d'une longue tige. On assemble cette pièce sur le dernier tube posé; si le jaillissement vient à se produire subitement, enlevant avec lui et projetant en l'air tout l'équipage de sonde, on ferme le tiroir et la fontaine se trouve ainsi captée.

Au-dessus de ce tiroir vient s'assembler un coude en fonte, coudé en quart de cercle, de manière à diriger le jet horizontalement lorsqu'on ouvre le tiroir. Sans ce coude, le jet de naphte, qui atteint parfois 80 mètres de hauteur, se trouve entraîné et pulvérisé par le vent et va se répandre à des distances atteignant parfois plusieurs kilomètres.

Ce coude doit avoir une très forte épaisseur (0 m. 07 à 0 m. 08), car le sable et les débris de roche entraînés par le jet liquide le détruisent rapidement.

Le forage se fait toujours, au Caucase, à la tige rigide constituée, comme pour les puits artésiens, d'un trépan à la partie inférieure et au-dessus d'une série d'allonges en nombre variable, finalement rattachées au balancier par un crochet à anneau tournant.

Lorsque des accidents viennent à se produire pendant le forage, ruptures de tiges

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ou de trépan, on emploie pour saisir et repêcher les pièces tombées au fond du puits des pinces de différents modèles, la caracole et, s'il faut exercer des efforts violents, les cloches à vis.

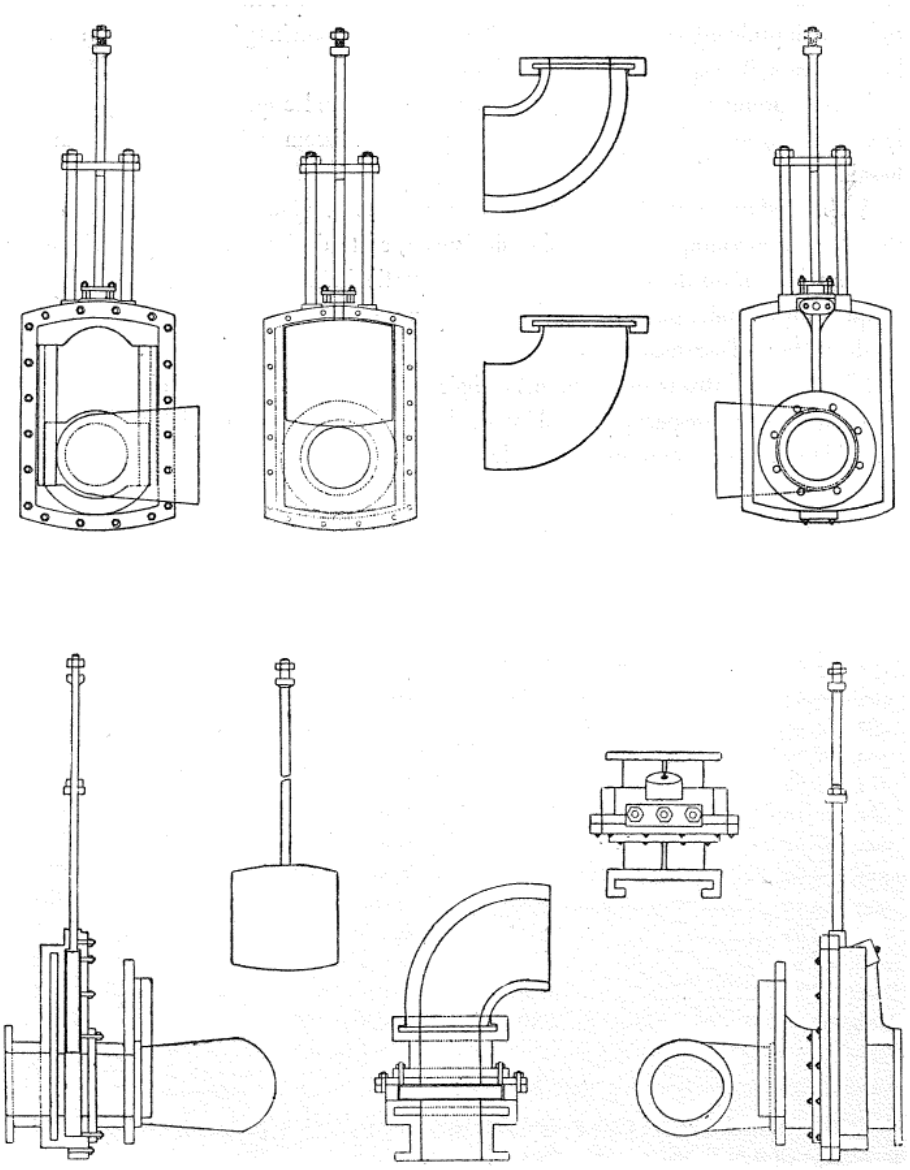


Fig. 21. — Kalpak pour puits jaillissants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il arrive quelquefois que ces opérations étant jugées trop longues ou trop coûteuses, on abandonne le forage en cours pour creuser un nouveau puits à côté.

Lorsque le forage a atteint la couche pétrolifère, ce dont on est prévenu généralement quelque temps auparavant par l'apparition des gaz à l'orifice des puits, il se présente, comme nous l'avons dit, deux cas : ou bien il se produit un jaillissement (dans ce cas, le liquide est recueilli dans des bassins de sable aménagés rapidement); ou bien la fontaine a été captée à l'aide du kalpak.

Dans le premier cas, on perd généralement de grandes quantités de liquide; dans le second, on ouvre le kalpak et on provoque le jaillissement au fur et à mesure des besoins.

Au bout d'un certain temps, ces fontaines finissent toujours par se tarir; l'extraction se fait alors mécaniquement à l'aide de *jelouka*, sorte de longs seaux cylindriques, de 0 m. 20 à 0 m. 50 de diamètre, munis à la partie inférieure d'une soupape à clapet et qui sont animés, par une machine à vapeur, d'un mouvement alternatif et rapide de descente et d'ascension.

L'huile ainsi extraite des puits est dirigée dans un petit réservoir voisin, en tôle ou en bois, où elle se sépare, par différence de densité, de l'eau, des débris de roches et du sable qui ont été entraînés avec elle.

C'est de ce bac de repos que l'huile est reprise par des pompes pour être dirigée ensuite dans les grands réservoirs d'emmagasinage que l'on voit figurer sur la vue panoramique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

STATISTIQUE DE PRODUCTION.

Bien qu'il ne s'agisse dans ce travail que de la description proprement dite du matériel de l'extraction et du raffinage du pétrole, le rapporteur ne saurait passer sous silence les documents intéressants que MM. Deutsch ont fait figurer dans leur exposition relativement à la production du pétrole en Amérique et au Caucase.

A côté de tableaux graphiques des plus complets, montrant l'accroissement prodigieux de cette production dans les dernières années, on pouvait voir de nombreux tableaux statistiques.

Voici deux de ces tableaux choisis dans les plus intéressants :

PRODUCTION DU PÉTROLE BRUT AUX ÉTATS-UNIS

(D'après l'*Annual official circular of the consolidated.*)

(Stock and petroleum Exchange of New-York.)

1859	82,000	1875	8,787,506
1860	500,000	1876	9,185,906
1861	2,113,000	1877	13,940,171
1862	3,056,000	1878	15,764,462
1863	2,611,000	1879	19,741,661
1864	2,116,000	1880	26,562,000
1865	2,497,000	1881	28,446,115
1866	3,597,000	1882	31,059,165
1867	3,347,000	1883	24,090,000
1868	3,583,176	1884	23,520,817
1869	4,210,720	1885	21,000,000
1870	5,673,195	1886	26,000,000
1871	5,715,900	1887	22,000,000
1872	6,531,675	1888	16,300,000
1873	7,878,629	1889	21,600,000
1874	10,950,730		

Soit en tout, de 1859 à 1889 inclus, un total de 372,421,828 barils.

Le baril est de 42 gallons, le gallon de 3 lit. 785, soit 1 baril = 158 lit. 97.

La production pendant cette période s'est donc élevée au chiffre prodigieux de 59,203,897,997 lit. 16.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PRODUCTION DU PÉTROLE BRUT (NAPHTE) AU CAUCASE.

1884	89,000,000	de pouds.
1885	115,000,000	—
1886	128,000,000	—
1887	131,000,000	—
1888	165,000,000	—

Le poud vaut 16 kilogrammes.

MATÉRIEL DE TRANSPORT.

Dans les pays de production le transport du pétrole des puits aux docks d'embarquement ou aux raffineries se fait à l'aide de lignes de tuyaux (*pipes-lines*) et au moyen de wagons-citernes, dont l'exposition du pétrole donnait de nombreux spécimens.

Pipes-lines. — Ainsi qu'on l'a dit précédemment, près de l'orifice des puits d'extraction se trouvent placées de grandes cuves en bois destinées à emmagasiner l'huile. Quand une de ces cuves est pleine, le propriétaire du puits fait une déclaration à l'agent de la Compagnie d'exploitation des pipes-lines, lequel constate quel est le volume d'huile disponible, après quoi il fait écouler cette huile dans le réseau de la Compagnie et il délivre au propriétaire un certificat que celui-ci peut vendre lorsqu'il le désire au prix courant de l'huile.

Dans les régions pétrolifères, le réseau des pipes-lines est très compliqué et varie avec les points de production ; autant que possible on fait écouler l'huile par une pente convenable donnée à la canalisation. Sur les grandes lignes, des stations de pompes sont établies à une distance de 30 kilomètres environ les unes des autres.

A chaque station, d'immenses réservoirs reçoivent l'huile de la station précédente. Les pompes employées sont à action directe ; la plupart d'entre elles sont construites par la Compagnie Worthington.

Deux compagnies principales exploitent le transport du pétrole par les pipes-lines :

La *Tide water pipe Company,* qui va de Rixford à Tamascud et dont la maîtresse conduite a une longueur de 275 kilomètres ;

La *National transit Company,* beaucoup plus importante, dessert toutes les régions de la Pensylvanie ; elle possède cinq lignes principales :

1° La ligne de New-York comprenant 11 stations de pompes et présentant une longueur de 473 kilomètres ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° La ligne de Philadelphie, possédant 7 stations sur une longueur de 372 kilomètres;

3° La ligne de Claveland, longue de 160 kilomètres et possédant 4 stations;

4° La ligne de Baltimore, longue de 106 kilomètres;

5° La ligne de Buffalo, longue de 101 kilomètres.

Les conduites maîtresses employées dans les deux premières lignes ont 0 m. 150 de diamètre, celles des deux suivantes sont de 0 m. 125 et celles de la ligne de Buffalo n'ont que 0 m. 100

A ces conduites principales viennent se brancher des conduites secondaires destinées à amener l'huile des puits ou à la conduire aux établissements particuliers.

En 1884, la longueur totale des conduites de la *National transit Company* était de :

1,782	kilomètres en tuyaux de	.....	150	millimètres.
296	—	.....	125	—
476	—	.....	100	—
585	—	.....	75	—
7,915	—	.....	50	—

A la même date, la *Tide water Company* possédait :

275	kilomètres de tuyaux de	.....	150	millimètres.
26	—	.....	100	—
145	—	.....	75	—
544	—	.....	50	—

Les réservoirs en fer ou en bois possédés par ces deux Sociétés et situés dans leurs diverses stations étaient, en 1884, d'une contenance totale de :

Pour la *National transit Company*.....	82,500,000 hectolitres.
Pour la *Tide water pipe Company*.....	3,460,000
Soit un total de.....	85,960,000

Au Caucase, eu égard au peu d'étendue de la région d'exploitation et aussi à la proximité des ports d'embarquement et des raffineries, les canalisations sont beaucoup moins développées.

Parmi les plus importantes établies sur le littoral de la mer Caspienne et destinées à conduire le pétrole brut des plateaux de Balachané aux raffineries de Bakou, on peut citer:

La conduite Mirzoef, en tuyaux de 0 m. 10 sur une longueur de 11 kilomètres;

La conduite Lianosof, en tuyaux de 0 m. 075 sur une longueur de 10 kilomètres:

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

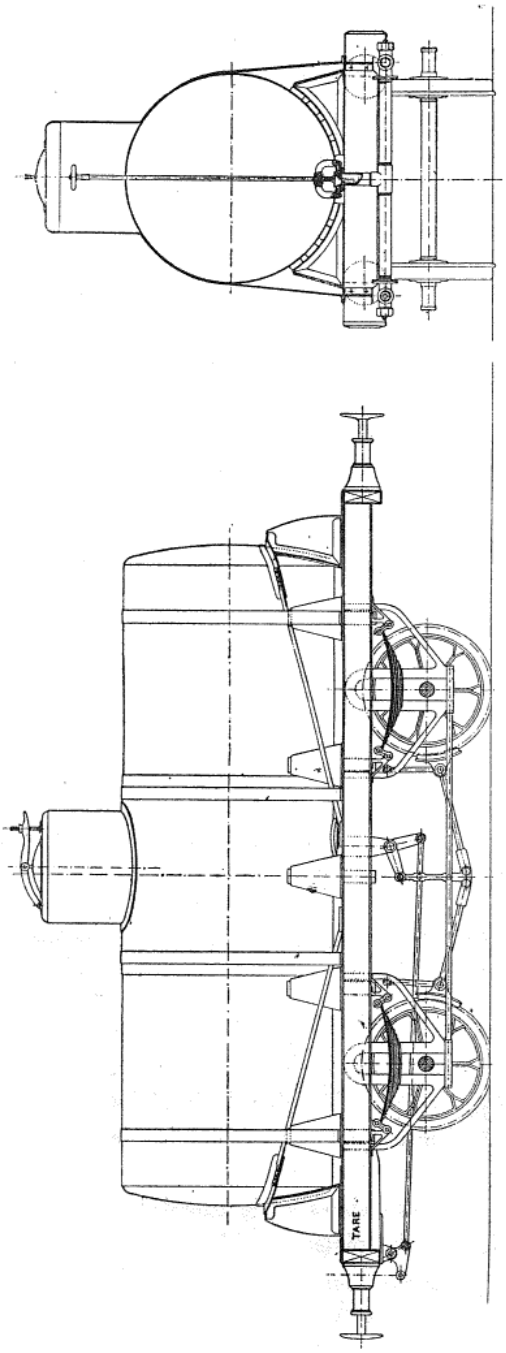


Fig. 22. — Wagon-citerne pour le transport des pétroles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La conduite de la Société des naphtes de Bakou de 0 m. 075 de diamètre et longue de 8 kilomètres ;

La conduite Artlichef, en tuyaux de 0 m. 075, longue de 12 kilomètres ;

La conduite Fédorof, de 0 m. 10 de diamètre et longue de 11 kilomètres ;

La conduite Nobel qui est double (l'une en tuyaux de 0 m. 10, l'autre de 0 m. 125) et qui a 12 kilomètres de développement pour chaque ligne ;

La conduite de la Société de Caspi qui est partie en tuyaux de 0 m. 10, partie en tuyaux de 0 m. 125 et qui a un développement de 12 kilomètres.

Il est actuellement question d'imiter en Russie le système américain et d'établir notamment une grande conduite pour amener les pétroles de Bakou sur la mer Caspienne à Batoum sur la mer Noire et de donner ainsi de grandes facilités pour l'exportation, mais ce projet n'est pas encore sorti de la période d'études.

Wagons-citernes. — Les wagons-citernes se composent d'un réservoir cylindrique en fer à double rivure, d'une contenance variable, installé solidement sur une plate-forme ordinaire (fig. 22).

Chaque citerne est munie d'un dôme d'expansion dont le couvercle fait office de trou d'homme ; d'un système de vidange, comprenant une vanne intérieure de sûreté, et d'un tuyau transversal aboutissant de chaque côté du wagon ; ce tuyau est muni à ses deux extrémités d'un robinet qui sert pour le remplissage et la vidange.

Les citernes sont faites aussi légères que possible afin de diminuer le poids mort.

Le système d'attache de la citerne sur la plate-forme est variable : tantôt les supports sont transversaux, tantôt ils sont longitudinaux ; ces supports sont en bois ou en fer.

En Amérique, les wagons-citernes sont de très grandes dimensions et installés sur des plates-formes à boggies.

Matériel d'exportation. — Le pétrole s'exporte soit en fût, soit en vrac. Les fûts sont en chêne et ont une capacité de 180 litres environ ; exclusivement utilisés autrefois pour le transport de l'huile brute, ils sont actuellement de plus en plus réservés au transport des produits raffinés.

Presque toutes les exportations se font aujourd'hui par wagons-citernes si l'expédition se fait par voie ferrée, et par bateaux-citernes si elle se fait par voie fluviale ou maritime.

Les anciens navires pétroliers, qui primitivement étaient chargés de barils, ont été modifiés pour servir à ce nouveau mode de transport ; leur cale a été divisée par deux cloisons longitudinales en trois compartiments étanches distincts, de façon à éviter que la stabilité du navire puisse se trouver compromise par le brusque déplacement du liquide sur un même bord (fig. 23). A l'avant et à l'arrière se trouvent ménagés les espaces réservés aux postes des hommes d'équipage et à la chambre des machines ; ces chambres sont isolées des caisses à huile par des cloisons étanches.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

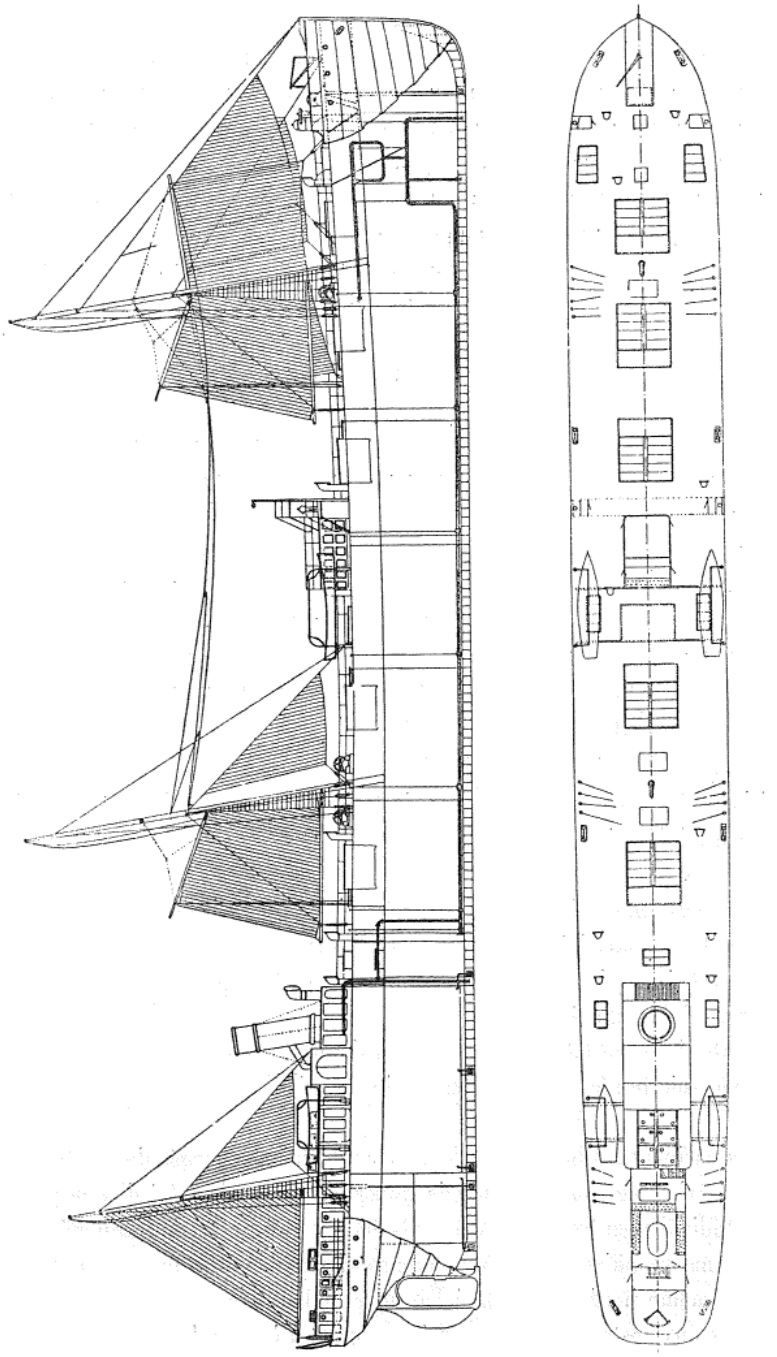


Fig. 23. — *Tank-steamer* «Prudentia» pour le transport des pétroles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

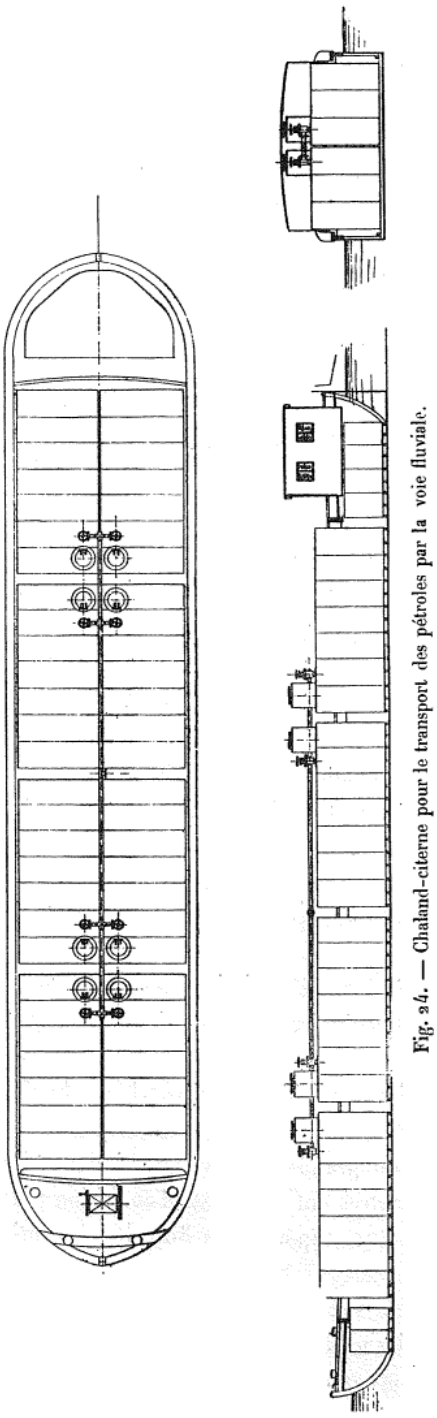


Fig. 24. — Chaland-citerne pour le transport des pétroles par la voie fluviale.

Les compartiments étanches ont une forme légèrement conique permettant de maintenir à vide la stabilité du navire sans avoir recours au water-ballast. Cette forme facilite également le nettoyage de l'intérieur de la cale pour loger le fret de retour.

A l'exposition du pétrole figuraient un modèle en réduction et un plan détaillé d'un magnifique steamer, le *Prudentia*, appartenant à la maison Deutsch, construit spécialement pour le transport du pétrole en vrac. Ce navire, qui peut être considéré comme le type du vapeur pétrolier, présente une longueur de 95 m. 10, une largeur de 12 m. 19 et une profondeur de 8 m. 50.

Le transport des huiles brutes par les pétroliers (*tank-steamers* ou *tank-ships*) a réalisé un véritable progrès pour l'exportation dont il a réduit sensiblement la dépense.

Chez MM. Deutsch le service des raffineries est fait par navires-citernes, et le port de Rouen a vu successivement arriver dans son bassin les navires *Chigssell*, *Fergussons*, *Prudentia*, *Russian-Priace*, *Caucase*, etc.

Les wagons-citernes ou les bateaux-citernes se remplissent au moyen de râteliers de chargement. Dans la partie du panorama consacrée aux États-Unis, on pouvait voir la représentation du chargement d'un train de wagons-citernes. Le long d'un quai, formé par une estacade en charpente, existe une grosse conduite alimentée par les réservoirs à pétrole et mise en communication avec les wagons par des branchements convenablement espacés. La citerne reçoit l'ex-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trémité mobile des branchements en sorte qu'il suffit d'ouvrir les vannes pour remplir à la fois tous les wagons.

On conçoit, sans autre explication, que le même système s'applique au remplissage des bateaux-citernes et des navires.

Matériel de navigation fluviale. — Pour le transport à l'intérieur, indépendamment des wagons-citernes et des barils, MM. Deutsch ont organisé une flotte de bateaux-citernes (fig. 24), les uns pour le transport des huiles brutes des ports d'embarquement aux distilleries, les autres pour l'expédition de l'huile raffinée des raffineries aux dépôts.

Les bateaux de 500 tonnes et au-dessus comportent un aménagement de citernes rectangulaires remplissant entièrement la coque du bateau et réunies entre elles par une tuyauterie commune.

Pour le transport sur les canaux les citernes ont la forme cylindrique, qui est à la fois plus simple et plus économique.

Voitures-citernes. — Ces voitures d'une contenance de 1,800 à 2,500 et 3,000 litres, suivant qu'elles doivent être conduites par un ou par deux chevaux, servent au transport des huiles raffinées de la raffinerie aux consommateurs eux-mêmes.

La citerne est en tôle mince, cylindrique ou rectangulaire; elle est munie d'un dôme d'expansion, d'un trou d'homme de nettoyage et d'un raccord de remplissage et de vidange.

On munit ces voitures de mesureurs divers, automatiques ou portatifs.

Ce mode de transport est très usité en Amérique et en Angleterre pour toutes les livraisons à faire aux débitants.

RAFFINAGE DU PÉTROLE.

Le pétrole brut se présente ordinairement sous la forme d'une huile brune dichroïque; sa densité varie suivant les lieux d'origine, elle est ordinairement comprise entre 0.780 et 0.920.

Il est constitué par des mélanges en proportions variables d'hydrocarbures homologues du gaz des marais.

Tous ces hydrocarbures sont caractérisés par une grande indifférence chimique: les uns sont gazeux à la température ordinaire, les autres ont des points d'ébullition plus ou moins élevés; certains bouillent à une température supérieure à 300 degrés centigrades.

Suivant l'état physique qu'ils affectent, densité, viscosité, inflammabilité, point de vaporisation ou de congélation, etc., l'industrie les utilise à des usages spéciaux. L'industrie du raffinage des huiles brutes consiste à séparer et à recueillir les divers pro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

duits commerciaux; elle y parvient à l'aide de distillations fractionnées et de traitements chimiques.

En classant les produits de la distillation par ordre de volatilité, on trouve tout d'abord :

Les gaz incondensables à la température ambiante qui sont recueillis dans les raffineries et utilisés comme gaz d'éclairage ou de chauffage, et qui, liquéfiés par refroidissement énergique ou par pression, servent dans l'industrie à l'extraction des parfums, à la fabrication de la glace, etc.;

Les carbures très volatils, rhigoline, éthers de pétrole, gazoline, etc., employés pour la production de l'air carburé, des essences de dégraissage, la fabrication des vernis et la peinture;

Les liquides non volatils au-dessus de + 35 degrés centigrades utilisés comme huiles d'éclairage soit pour l'usage domestique, soit pour des emplois spéciaux, navires, chemins de fer;

Les huiles à point d'ébullition élevé et de consistance visqueuse employées au graissage;

Enfin les matières épaisses ou solides : vaseline pour pharmacie et parfumerie, paraffine et goudrons.

En dernière analyse, il reste comme produit ultime de la fabrication une sorte de coke, très brillant, très pur, qui est une excellente matière première pour la fabrication des crayons destinés à l'éclairage électrique.

Tous ces produits figuraient dans la galerie circulaire de l'exposition panoramique. On pouvait en même temps se rendre compte de l'importance des établissements fondés par MM. Deutsch ou avec leur concours, par l'inspection des photographies représentant ces diverses usines dont voici la nomenclature :

France. — Raffinerie de pétrole à Pantin; usine de Saint-Loubès (Gironde) créée en 1879; usine de Rouen « la Luciline », créée en 1876, puis déplacée et agrandie en 1881.

Espagne. — Deutsch y Cie, raffineries de pétrole d'Alicante, de Barcelone, de Santander, de Séville, créées en 1881.

Autriche-Hongrie. — Mineraloil Raffinerie actien Gesellschaft; raffinerie de Fiume Dalmatie).

Russie. — Société commerciale et industrielle de naphte de la mer Caspienne et de la mer Noire; puits et raffinerie de pétrole de Bakou; docks et entrepôts de Batoum.

États-Unis. — Continental Oil Schipping Company; docks et entrepôts de Point-Bruze (Philadelphie).

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Matériel des raffineries. — Le matériel des raffineries de pétrole figurait avec de grands détails dans l'exposition technique organisée par la maison Deutsch ; à côté des vues de ses principales raffineries d'Amérique et du Caucase et de celles des diverses usines françaises et étrangères de MM. Deutsch, figuraient des plans en relief de leurs deux plus importantes usines françaises, « la Luciline » de Rouen et « la Luciline », de Pantin ainsi que des dessins et des plans à grande échelle du matériel nécessité par cette industrie.

L'établissement de Rouen peut être considéré comme le type le plus parfait de ces usines; son étendue est de 4 hectares. Placé sur le bassin même affecté aux pétroles sur le port de Rouen, il est relié au chemin de fer par un embranchement spécial. Sa situation lui permet donc de recevoir à sa porte, même par les plus grands navires, tous ses produits bruts, et de réexpédier ensuite ses produits raffinés, soit par voie fluviale, soit par voie ferrée, dans tout l'intérieur de la France.

Le matériel de cet établissement considérable, distribué de la façon la plus méthodique, est groupé en deux parties complètement séparées, ainsi qu'on pouvait s'en rendre compte par l'inspection du beau plan en relief, exécuté par M. Adrien Müller, ingénieur de la maison Deutsch, qui figurait dans la galerie des machines.

D'un côté de l'usine sont groupés les magasins ou réservoirs à produits bruts et raffinés avec les ateliers pour la préparation des emballages et les magasins d'expédition.

De l'autre côté sont placés tous les ateliers de fabrication.

Entre ces deux groupes séparés par une large voie se trouve la machinerie actionnant toutes les pompes de l'usine.

Les réservoirs servant à emmagasiner les huiles brutes et les produits raffinés sont en tôle de fer ou d'acier soigneusement rivée ; ils sont cylindriques et munis de deux trous d'homme: l'un inférieur pour le nettoyage; l'autre supérieur, sur le couvercle en calotte sphérique, est à joint hydraulique. Il assure ainsi une fermeture hermétique tout en maintenant à l'intérieur une pression uniforme malgré les variations de température.

Les dimensions de ces réservoirs sont variables ; elles atteignent parfois 30 mètres de diamètre et 10 mètres de hauteur.

Les tôles qui les composent ont des épaisseurs allant en décroissant de la base au sommet. C'est dans une partie de ces réservoirs que les tank-steamers à leur arrivée envoient, à l'aide de puissantes pompes, les huiles brutes qu'ils apportent des pays de production. L'agencement en est si bien compris qu'en moins de trente-six heures un tank-steamer de 4,000 tonnes peut décharger toute sa cargaison.

Les réservoirs servant de dépôt aux produits raffinés sont plus variés et généralement plus petits que les réservoirs à huile brute, en raison de la diversité des produits issus du raffinage.

Tous ces réservoirs sont reliés par des canalisations en fer, d'une part, aux diverses pompes de l'usine, et, d'autre part, avec les magasins d'expédition où se fait la mise en barils de bois, en tonnelets de fer ou en bidons en fer-blanc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces magasins d'expédition sont de vastes halles avec charpentes en fer, soigneusement dallées, bien ventilées et dans la construction desquelles il n'entre que des matériaux incombustibles. Là, les emballages, barils, tonnelets, bidons ou caisses arrivent tout préparés et leur remplissage s'opère avec une précision remarquable au moyen de remplisseurs automatiques.

Des ateliers de tonnellerie, d'échaudage, de séchage, de collage, de peinture et d'estampillage des barils complètent la première partie de l'usine.

Fabrication. — Le matériel de fabrication des raffineries comprend deux classes d'appareils :

Les appareils de distillation et de rectification ;

Les appareils servant au traitement des produits distillés par des agents chimiques.

Les appareils de distillation sont de deux classes : les appareils à feu direct et les appareils chauffés à la vapeur.

Il serait trop long d'entrer dans le détail complet de ces gigantesques chaudières, auxquelles MM. Deutsch ont apporté dans ces derniers temps des perfectionnements importants; nous ne pouvons en donner qu'une description sommaire.

Les chaudières à feu direct sont de deux espèces :

Les chaudières de première distillation, c'est-à-dire celles qui reçoivent le pétrole brut, elles sont en tôle de fer ou d'acier ; les blak-pots ou chaudières dans lesquelles on distille les résidus de la première distillation, elles sont en fonte.

Le type de chaudière de première distillation adopté à « la Luciline » est la chaudière cylindrique horizontale de 8 m. 40 de long sur 3 m. 80 de diamètre (fig. 25). Sa capacité est de 100,000 litres. Ces chaudières sont construites en tôle de fer de premier choix, leur épaisseur est de 0 m. 014, elles sont à double rivure. A leur partie supérieure se trouvent un dôme et un col de cygne conduisant les vapeurs aux serpentins ; deux trous d'homme placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure de l'un des fonds, opèrent le refroidissement et la ventilation rapides de l'appareil et permettent un nettoyage facile.

A leur extrémité postérieure, celle opposée au foyer, elles sont munies d'une vanne en fer ou en acier pour le décantage à chaud des résidus dans les blak-pots.

Ces appareils sont supportés sur le foyer par des oreilles latérales laissant un libre jeu à la dilatation; cette disposition, jointe à une construction bien raisonnée du fourneau qui assure un chauffage uniforme, suffit pour conjurer toute espèce de fuite.

La construction des serpentins réfrigérants est faite de telle sorte qu'à l'aide de puissants déflegmateurs on peut séparer rationnellement et de premier jet les divers produits de la distillation suivant leur poids spécifique et leur degré d'inflammabilité.

Chaque serpentin a un développement de 400 mètres, les liquides qui circulent à leur intérieur n'ont aucun contact avec l'air ambiant; des appareils spéciaux, adaptés aux boîtes de séparation, servent à retenir les gaz incondensables à la température

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

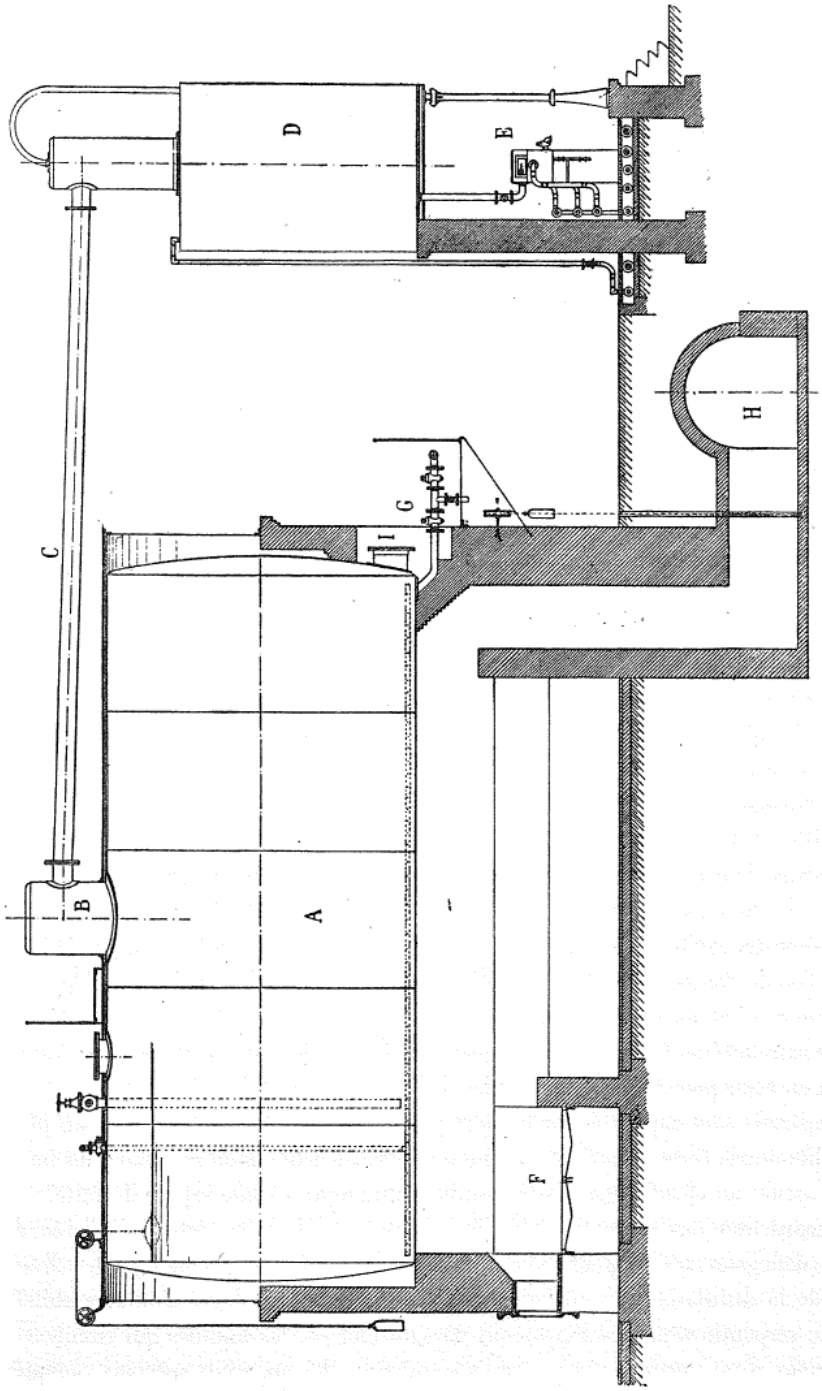


Fig. 25. — Chaudière de première distillation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ordinaire. Ces gaz ainsi captés sont conduits par une canalisation spéciale dans une série de gazomètres d'où ils sont extraits soit pour servir à l'éclairage de l'usine, soit pour être utilisés comme combustible sous les foyers mêmes des appareils distillatoires.

Ces gaz, qui constituaient autrefois une gêne pour le voisinage et un danger permanent d'incendie pour l'usine, trouvent chez MM. Deutsch leur utilisation raisonnée.

La première distillation ne peut pas être conduite jusqu'à la fin dans les appareils en tôle parce qu'il se forme rapidement un dépôt de coke et que les chaudières courraient de trop grands risques de détérioration. La distillation est arrêtée à un certain degré et les résidus goudronneux sont alors décantés à chaud dans des appareils en fonte, les blak-pots ou les *diables* comme on les appelle dans les usines de MM. Deutsch; c'est dans ces appareils que la distillation est poussée jusqu'à la production du coke.

Les blak-pots (fig. 26) ont la forme d'un cylindre vertical terminé par un fond sphérique dont l'épaisseur est de 0 m. 08.

Le poids de l'appareil est de 15,000 kilogrammes.

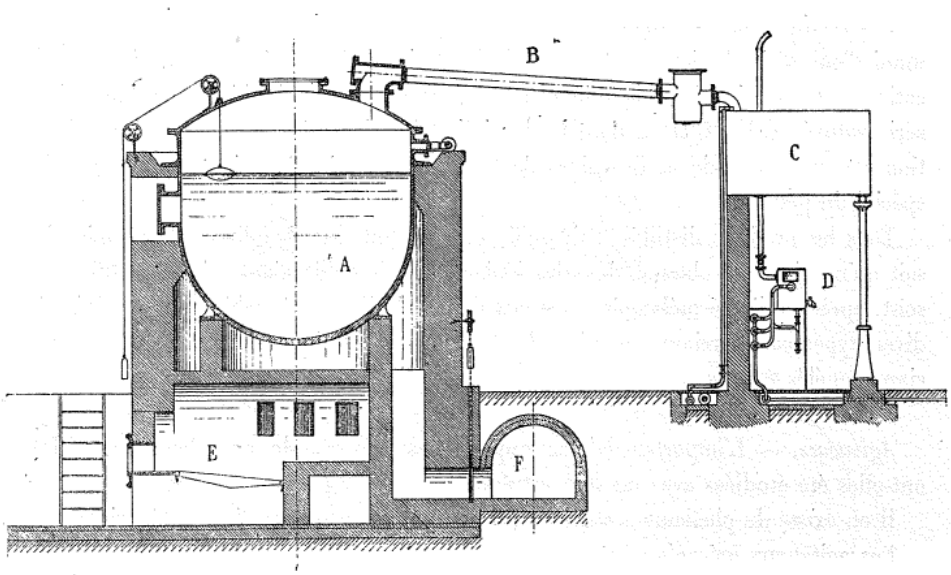


Fig. 26. — Blak-pots pour la distillation des produits goudronneux.

Ces appareils sont également munis de trous d'homme pour leur nettoyage et leurs serpentins possèdent des déflegmateurs spéciaux permettant de séparer du premier jet les produits les plus volatils provenant de la dissociation des huiles lourdes et de les isoler des produits ininflammables.

Ces blak-pots, de même que les chaudières de premier jet, sont disposés en batteries de 8 ou 10.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les produits distillés, fractionnés dès leur condensation, sont dirigés, suivant leur densité et leur degré d'inflammabilité, dans une série de réservoirs où ils se trouvent classés méthodiquement. Une grande partie de ces produits peut, grâce au système ingénieux de déflegmation employé par MM. Deutsch, entrer directement dans les moyennes des différents produits raffinés sans subir d'autre traitement physique; mais on comprend qu'en agissant sur des masses aussi considérables et avec une allure de distillation aussi rapide, la séparation d'un produit à l'autre ne puisse se faire d'une façon absolument nette; il y a donc quelques produits intermédiaires qui doivent être soumis à une nouvelle rectification.

Cette opération se pratique, pour les essences aussi bien que pour les huiles, dans des chaudières chauffées par des serpentins à vapeur directe ou indirecte.

Par cette rectification on sépare des essences les carbures à densité élevée qu'elles ont entraînés mécaniquement et dont la présence les rendrait graisseuses; on extrait de même des huiles destinées à l'éclairage les huiles plus volatiles qu'elles contiennent ou même les gaz qui s'y trouvent dissous et qui les rendraient inflammables au-dessous de la limite commerciale.

Les rectificateurs à essences ont des formes assez variables, leur col de cygne est muni d'une série de déflegmateurs. MM. Deutsch ont imaginé un appareil de rectification sous pression à l'aide duquel ils obtiennent à l'état liquide les carbures de la série saturée C^3H^8, C^4H^{10}... dont la densité est inférieure à 0.625 et le point d'ébullition est au-dessous de 0. Les plans de tous ces appareils figuraient dans le pavillon spécial du pétrole.

Tous les produits distillés, soit qu'ils proviennent des chaudières de premier jet, soit qu'ils aient été obtenus dans les blak-pots, soit qu'ils aient subi la rectification, sont, après avoir été mélangés entre eux d'une manière convenable pour produire les divers types commerciaux, soumis à des traitements chimiques dans des appareils spéciaux appelés *agitateurs*.

Agitateurs. — L'importance de ces appareils est très grande, aussi leurs dispositions ont-elles été étudiées avec un soin extrême.

Il en existe de plusieurs systèmes, qui peuvent se classer en deux catégories:

Les agitateurs mécaniques;

Les agitateurs à air comprimé.

Les agitateurs de l'un et de l'autre système sont des vases cylindriques verticaux à fond conique dont le diamètre varie de 3 à 6 mètres et la hauteur de 4 à 8 mètres.

L'intérieur est complètement revêtu de plomb.

Dans les agitateurs mécaniques le mouvement est communiqué à la masse au moyen d'une tige animée d'un mouvement vertical assez rapide; cette tige est terminée par un disque en fer qui donne à la masse liquide un mouvement d'ascension ayant pour effet d'entraîner et de mélanger l'agent chimique avec la masse d'huile à traiter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

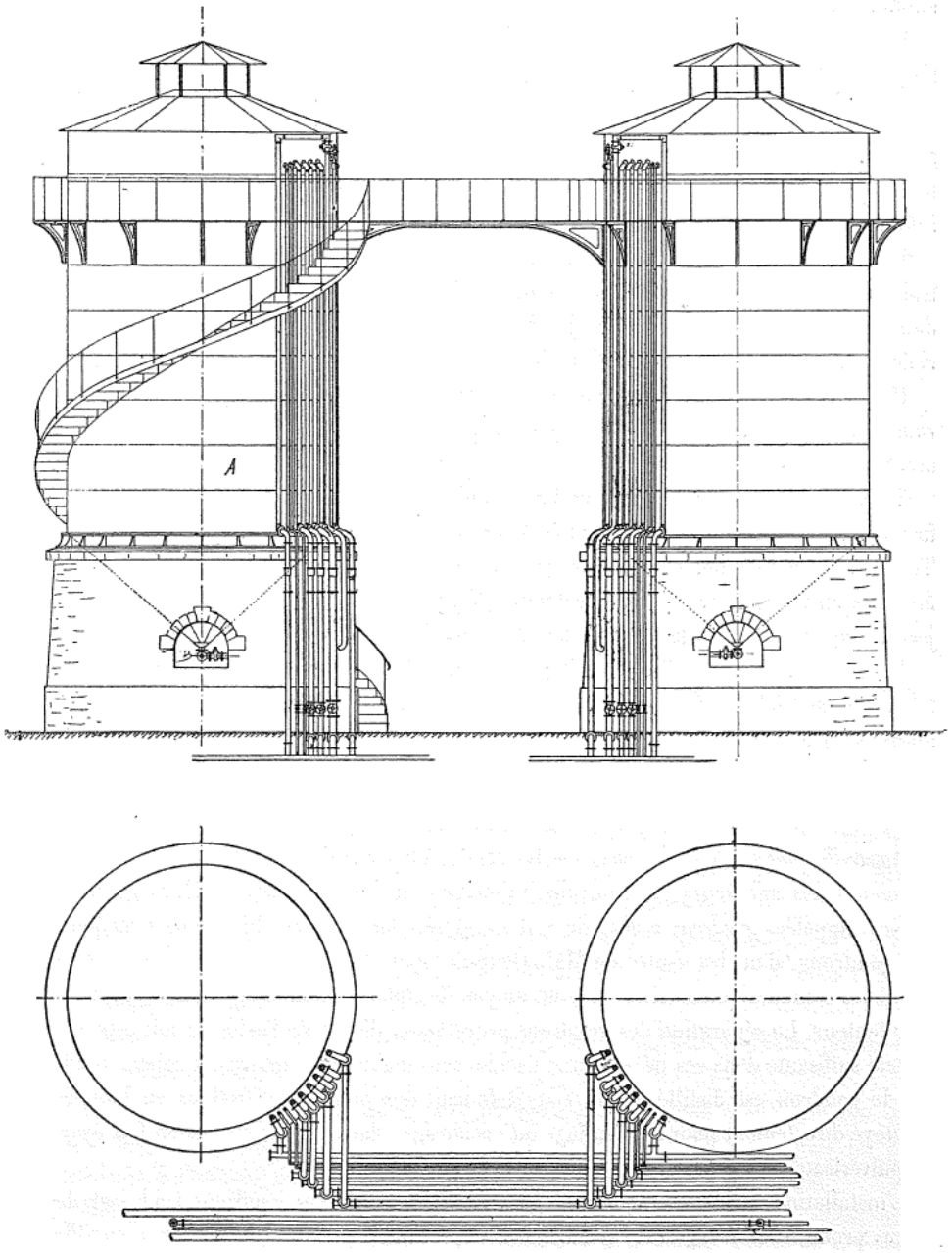


Fig. 27. — Agitateur à air comprimé pour le traitement chimique des huiles de pétrole.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans d'autres appareils, la tige à plateau est remplacée par une roue à palettes animée d'un mouvement rapide de rotation.

Les agitateurs mécaniques sont généralement de petite dimension et sont surtout appliqués au traitement des essences.

Agitateurs à air comprimé. — Dans toutes les usines de MM. Deutsch les grands agitateurs sont à air comprimé (fig. 27). L'air est envoyé dans l'appareil par une tubulure piquée sur le cône inférieur; des pompes à grand débit permettent d'en opérer le refoulement sous une pression de 1 à 2 atmosphères.

Les essences et les huiles sont soumises successivement dans ces agitateurs à des traitements à l'acide sulfurique concentré et à la soude; ces réactifs sont introduits dans les agitateurs par des monte-jus à air comprimé actionnés par des pompes spéciales à haute pression et à faible débit.

Parmi les perfectionnements ou les améliorations qui ont été apportés à ces appareils par MM. Deutsch, on peut citer ceux qui ont été conçus en vue de prévenir les accidents ou d'en arrêter les effets.

Tous les agitateurs sont, dans ce but, munis à leur partie supérieure d'une *araignée* formée par deux tuyaux en croix reliés à une série de tubes en anneaux concentriques. Tous ces tubes sont percés de trous, et, en cas d'inflammation du liquide, ils peuvent être mis en relation avec les générateurs et lancer à la surface du liquide de puissants jets de vapeur qui dans la plupart des cas suffisent à éteindre le feu.

Dans le cas où l'incendie n'aurait pu être arrêté par ce moyen, une disposition de tuyauterie spéciale permet de substituer de l'eau à l'huile ou à l'essence qui sont alors décantées par le haut et dirigées dans des réservoirs éloignés.

L'incendie s'éteint de cette façon faute d'aliment et les pertes se trouvent considérablement atténuées.

Appareils annexes des agitateurs. — La soude, et particulièrement l'acide sulfurique provenant des agitateurs, se trouvent intimement mélangés à des matières goudronneuses, appelées *goudrons acides*, dont il est généralement assez difficile de tirer parti. Ces goudrons, dans les usines de MM. Deutsch, sont dirigés dans de grandes citernes plombées communiquant entre elles au moyen de siphons, dans lesquelles ils circulent avec lenteur. La séparation des goudrons proprement dits et de l'acide se fait avec une netteté suffisante dans ces décanteurs; l'acide convenablement saturé est rejeté, tandis que le goudron est distillé à nouveau et fournit des produits utilisables ou bien est employé directement pour le chauffage ou l'éclairage; dans ce dernier cas on fait usage de pulvérisateurs spéciaux.

L'installation rationnelle des bacs pour la décantation des goudrons acides et des autres produits de lavage est extrêmement importante, car elle permet de recueillir, outre les goudrons, des huiles entraînées mécaniquement qui, sans cette disposition, seraient totalement perdues.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'épuration chimique est suivie d'une filtration très soignée; à cet effet, chaque agitateur est mis en relation avec un système de filtre au travers duquel les huiles traitées sont obligées de passer avant d'être dirigées dans les réservoirs des produits achevés.

Pompes. — Les raffineries de pétrole emploient pour établir la circulation des liquides dans leurs diverses opérations un nombre considérable de pompes de toutes dimensions et de tous systèmes.

En Amérique et au Canada, pour le service des pipes-lines, on fait usage d'énormes pompes à action directe du système Worthington à deux cylindres équilibrés, des systèmes Blake, Tangye, etc.

Ces pompes absorbent 200 à 250 chevaux de force et débitent 300 mètres cubes à l'heure.

Les pompes Tangye et Worthington sont également très employées pour tous les services éloignés des générateurs à vapeur; les pompes rotatives Greindl sont utilisées pour les transvasements sans grande différence de niveau.

La nouvelle usine de Rouen comprend, outre les pompes à action directe, une série de pompes à courroies et à pistons plongeurs dont la construction a été étudiée particulièrement en vue du travail spécial qu'elles ont à fournir.

SOUS-PRODUITS DU RAFFINAGE DU PÉTROLE.

A côté des divers produits, essences, huiles lampantes, huiles à graisser, etc., retirés des huiles brutes par la distillation, se trouve une substance très importante, la paraffine, dont les usages tendent à se généraliser chaque jour. On l'extrait des huiles lourdes de deuxième jet provenant des blak-pots.

MM. Deutsch, qui ont imaginé un traitement rationnel tout nouveau pour cette fabrication, avaient exposé les plans de l'usine spéciale qu'ils ont fait construire à grands frais pour la mise en œuvre des procédés qui sont leur propriété.

De puissantes machines à glace des systèmes Carré, à ammoniaque, et Pictet, à acide sulfureux, opèrent le refroidissement des huiles lourdes en vue d'amener la cristallisation de la paraffine.

L'huile, convenablement refroidie, est passée dans des filtres-presses placés dans des chambres refroidies.

Les tourteaux de cette opération sont ultérieurement soumis à une pression énergique dans des presses à chaud analogues aux presses de stéarinerie, puis les pains sont lavés à l'essence de pétrole et finalement sont blanchis au noir animal.

MM. Deutsch sont arrivés à produire couramment de la paraffine de qualité extra, fondant à 58-59 degrés; leur fabrication alimente la plus grande partie de la consommation française qui, autrefois, était tributaire de l'Allemagne et de l'Angleterre.

Ce fait n'est pas sans importance, car on sait que le Département de la guerre con-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

somme une quantité relativement considérable de paraffine pour la fabrication de certaines de ses cartouches et il y avait un intérêt majeur à ce que, en cas de guerre, on pût trouver dans le pays une fabrique capable de suffire à tous les besoins.

A la fabrique de paraffine se trouve annexé un atelier pour le coulage des bougies blanches ou colorées très appréciées comme éclairage de luxe.

Vaseline. — Ce produit est constitué par des hydrocarbures semi-fluides que l'on retire des huiles lourdes.

Jusqu'à ce jour MM. Deutsch se sont contentés de livrer la vaseline brute aux usines qui la raffinent, mais ils viennent de monter un atelier dans lequel ils feront subir à ce produit les manipulations nécessaires pour en opérer la purification. Les traitements, comme l'on sait, consistent en épurations chimiques, désodorisation par évaporation, filtrages sur des poudres décolorantes, telles que noir animal, noir de prussiate, argile, etc.

Enfin dans les usines de MM. Deutsch sont installés des ateliers pour l'utilisation des acides noirs provenant des agitateurs ; ces acides, débarrassés dans les décanteurs de leurs goudrons, sont utilisés à la fabrication des sulfates de fer, de cuivre et d'ammoniaque ainsi qu'à la préparation des superphosphates de chaux pour l'agriculture.

Ces installations constituent de véritables usines annexes qui permettent d'arriver à une utilisation complète de tous les sous-produits.

Le tableau suivant fait ressortir l'importance des établissements de MM. Deutsch :

INDUSTRIE DES HUILES MINÉRALES.

ÉTABLISSEMENTS DE MM. DEUTSCH, EN FRANCE ET À L'ÉTRANGER.

	SUPERFICIE TOTALE des établissements en mètres carrés.	CAPACITÉ DE PRODUCTION évaluée en barils de pétrole brut traité.	CONSOMMATIONS ÉVALUÉES EN TONNES.			FORCE MOTRICE.	INGÉNIEURS.	OUVRIERS.
			Charbon.	Acide.	Soude.			
France.....	105,000	390,000 barils. 56,550,000 kilogr.	12,000	2,500	500	800	8	625
Espagne.....	112,000	220,000 barils. 31,900,000 kilogr.	6,000	1,200	250	450	4	360
Autriche-Hongrie.	50,000	420,000 barils. 60,900,000 kilogr.	18,000	2,800	600	400	5	300
Russie.....	315,000	1,800,000 barils. 261,000,000 kilogr. Et si l'on tient compte des achats sur place : 4,000,000 barils. 580,000,000 kilogr.	30,000	25,000	5,000	"	15	3,500

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS D'ESSAIS.

En dehors du matériel industriel proprement dit, MM. Deutsch ont exposé une série très complète de tous les appareils employés dans les laboratoires de leurs diverses usines : appareils pour l'essai du pétrole brut, pour la fixation du point d'inflammabilité, viscosimètres, photomètres, etc.

Analyse du pétrole brut. — Cette opération s'effectue dans une cornue cylindrique, en cuivre très épais, dont le fond affecte la forme d'une calotte sphérique. Le couvercle, également en cuivre, s'adapte sur le cylindre au moyen de serre-joints et d'un mastic spécial; il est percé de deux orifices : dans l'un se fixe un thermomètre pouvant indiquer les températures jusqu'à 450 degrés ; l'autre est muni d'un tube refroidi par un courant d'eau et sert pour l'écoulement des liquides qui distillent. On recueille les produits par fraction de 1/20 du liquide brut mis en expérience. On opère généralement sur 3 litres, en sorte que chaque fraction recueillie est du volume de 150 centimètres cubes.

Les produits sont classés suivant leur densité, ainsi qu'il suit :

Essences légères, du commencement de la distillation à	0.725
Essences lourdes, de 0.725 à	0.740
Huiles légères, de 0.740 à	0.822
Huiles lourdes, de 0.822 à	0.845

Dans les environs des points marqués par ce tableau, on recueille le liquide par fraction de 50 centimètres cubes pour mieux saisir le point où la séparation doit être faite.

On note aussi la décomposition plus ou moins facile des huiles lourdes, la couleur de ces mêmes produits et aussi leur teneur en paraffine.

Il reste un résidu de coke que l'on pèse.

Les produits, objets de ce premier classement, sont ensuite rectifiés dans des ballons en verre ou en cuivre munis de rectificateurs Lebel et Henninger.

Mesure des températures. — Ce n'est qu'au laboratoire que l'on détermine la température d'ébullition des divers liquides; industriellement on se borne simplement à suivre la marche de la distillation en prenant la densité du liquide qui s'écoule. A cet effet les alambics sont munis d'un jeu de trois densimètres spéciaux à échelle appropriée, et d'un thermomètre, dit *de fabrication*, protégé par une gaine en bois.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mesure de la densité. — On ramène les densités à la température de + 15 degrés centigrades en se servant des trois coefficients de dilatation suivants, qui sont moyens pour les produits considérés :

Essences	0.008
Huiles légères	0.007
Huiles lourdes	0.006

Mesure du point d'inflammabilité. — Les règlements fixent à + 35 degrés le point d'inflammabilité minimum des huiles de pétrole destinées à la consommation comme « huiles lampantes ».

Il est donc de tout intérêt de pouvoir effectuer facilement cette mesure : les appareils de Granier, de Luchaire et d'Abel sont employés concurremment dans les usines. Les résultats qu'ils fournissent sont également bons.

Mesure de la coloration. — La couleur des essences et des huiles est établie d'après l'échelle suivante :

1° Blanc eau ;
2° Beau blanc ;
3° Blanc ;
4° Paille clair ;
5° Paille ;
6° Paille foncé.

On fait usage pour ce classement soit du colorimètre de Duboscq, en adoptant une série de types de liquides colorés, soit du grand colorimètre de Stammer, en comparant une hauteur déterminée de pétrole à des verres colorés d'épaisseurs connues.

Mesure du point de fusion des hydrocarbures solides. — On fait usage du procédé employé ordinairement dans les laboratoires, ou bien on fond sur l'eau une parcelle de paraffine et on note la température au moment précis où la transparence de la goutte fondue disparaît.

Ce dernier procédé est généralement employé par les contremaîtres des usines, car il est le plus simple et ne nécessite aucun matériel spécial.

Mesure de la viscosité. — *Viscosimètres.* — On mesure la viscosité des huiles à graisser en les faisant écouler par un orifice déterminé, à une température constante de 50 degrés ou de 100 degrés, l'eau ou l'huile de colza étant prises pour types.

Les viscosimètres, tous semblables par le principe, varient beaucoup dans leurs détails d'exécution : l'ixomètre de Barbey est l'un de ceux qui permet de donner à ces mesures toute la précision qu'elles comportent.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Mesures photométriques. — L'essai des huiles lampantes n'est pas, à proprement parler, un essai photométrique, c'est un essai comparatif d'éclairage. On se sert à cet effet d'une lampe à bec plat contenant 250 grammes de pétrole. La mèche a 17 millimètres de largeur et la hauteur de la flamme est réglée au début de l'expérience à 30 millimètres. On note l'abaissement successif de la flamme et on éteint quand la hauteur de la flamme n'est plus que de 15 millimètres.

Suivant le temps qu'a mis la flamme à s'abaisser on établit le classement suivant :

De 4 à 5 heures, le pétrole est dit			médiocre.
De 5 à 6 heures	—	—	passable.
De 6 à 7 heures	—	—	assez bon.
De 7 à 8 heures	—	—	bon.
De 8 à 9 heures	—	—	très bon.
De 9 à 10 heures	—	—	extra.

Lorsqu'on désire faire des mesures photométriques avec toute l'exactitude requise, on emploie le photomètre de Bunsen à tache d'huile et on compare à la lampe Carcel étalon.

Emballages. — Tous les genres d'emballage employés en Europe ou en Amérique pour l'emballage, soit du pétrole brut, soit des produits raffinés, avaient été réunis à l'exposition Deutsch.

Les emballages sont généralement fabriqués dans les établissements les plus importants et situés à proximité des pays de production, à Batoum, au Caucase, à Philadelphie, en Amérique.

Le matériel de fabrication des fûts ou des caisses en bois comprend : des scieries pour débiter les douves, les planches, etc.; des machines à préparer les douves, à faire le joint, à faire les fonds et à assembler les fûts ; des machines à couler et à rebattre.

Les estagnons en fer-blanc sont également fabriqués de toutes pièces dans ces usines, au moyen de machines à emboutir, à plier, à souder, etc.

Manutention des barils. — Quand les barils sont en service, il faut, à leur retour dans les usines, les mettre en état convenable. A cet effet, ils sont successivement échaudés à la vapeur dans des appareils spéciaux, puis lavés et mis à sécher. Ils repassent ensuite à la tonnellerie pour être rebattus, opération qui se fait à l'aide de machines à rebattre, puis ils sont encollés mécaniquement. Cet encollage a pour but de former à l'intérieur des barils une couche mince mais continue de gélatine, qui s'oppose au passage de l'huile ou de l'essence au travers des douves. Quand les fûts ont subi ces diverses opérations ils sont prêts pour le remplissage.

Les estagnons en fer-blanc n'exigent, pour leur remise en service, qu'un lavage intérieur et extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le remplissage des barils se fait automatiquement à l'aide de robinets enfûteurs, construits de telle sorte que l'arrêt du liquide se produit lorsque le fût est convenablement rempli.

Le remplissage des bidons et des estagnons s'opère au moyen d'un appareil composé d'une plate-forme tournante, sur les côtés de laquelle s'effectuent les opérations successives de remplissage, de soudage, d'enlevage des estagnons pleins et de pose de nouveaux récipients vides.

La disposition de ces appareils divers se comprend aisément, nous ne nous arrêterons donc pas à en faire la description. Tous étaient représentés, soit en réduction, soit en plans et dessins, dans la galerie circulaire du panorama.

APPLICATIONS DU PÉTROLE.

L'annexe du panorama, exclusivement réservée aux applications du pétrole, était très intéressante à visiter.

Nous n'avons pas à nous occuper des diverses lampes à huile ou à essence, ces appareils ressortissant à la classe 27; nous dirons seulement quelques mots des carburateurs à air ou à gaz, des moteurs à essence et des appareils à pulvériser les huiles lourdes en vue des applications de ces huiles à l'éclairage.

Carburateurs. — Les carburateurs sont des appareils à l'aide desquels on sature l'air atmosphérique de vapeur d'essence de pétrole dans le but de lui communiquer des propriétés combustibles et éclairantes analogues à celles que possède le gaz de houille.

Ces appareils ne peuvent ordinairement fonctionner convenablement qu'avec une essence très légère, d'une densité de 0.650, désignée sous le nom de *gazoline.*

Il est peu de problème qui ait exercé autant l'ingéniosité des chercheurs que celui de la carburation de l'air; bien que le principe qui sert de base à tous les carburateurs soit le même, il existe une très grande variété de types; nous ne mentionnerons que ceux qui ont plus spécialement attiré l'attention du jury

Carburateur Lothamer (médaille d'argent). — Cet appareil se distingue par cette particularité que la carburation de l'air se produit au fur et à mesure de la consommation, il n'y a donc jamais de gaz emmagasiné.

La gazoline soumise à l'évaporation est renfermée dans un réservoir cylindrique où son niveau reste constant, grâce à l'adjonction d'un siphon qui communique avec le vase d'alimentation. L'air nécessaire est introduit non pas par aspiration à l'aide d'un ventilateur, comme dans la plupart des systèmes connus, mais par le refoulement produit par une petite pompe mise en jeu par un moteur alimenté par l'air carburé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lui-même. Une circulation d'air chaud compense l'abaissement de température produit par l'évaporation de la gazoline et assure sa complète volatilisation ; une soupape très sensible, placée sur le dôme du cylindre, établit dans la canalisation une pression constante quel que soit le nombre de becs mis en service, en laissant échapper dans l'atmosphère une partie de l'air refoulé avant qu'il n'ait pu pénétrer dans la chambre de carburation. Il résulte de cette disposition non seulement une grande régularité dans les flammes, mais encore une très sensible atténuation de la condensation dans les conduites ; on peut dès lors employer des tuyaux de diamètre assez réduit et leur donner toutes les courbures que les circonstances exigent, sans avoir besoin de poser des siphons.

Ce carburateur convient parfaitement pour actionner des moteurs.

Carburateur Jaunez (médaille d'argent). — Ce carburateur fonctionne sans aucun moyen mécanique : contrepoids, moteur, cloche à air, aspirateur, etc.

Il comprend une cuve urmontée d'un gazomètre à joint hydraulique, un régulateur de pression, une chaudière lenticulaire pour la vaporisation de la gazoline, et enfin un injecteur actionné par la vapeur de gazoline.

Pour le mettre en marche on commence par insuffler dans le gazomètre une petite quantité d'air, ce qui se fait aisément à l'aide d'une poire en caoutchouc adaptée à un robinet spécial. Cette opération a pour but de former à froid une quantité d'air carburé suffisante pour alimenter le brûleur dans les premiers instants de la fabrication. On allume alors le brûleur et, dès que la lentille est chaude, on y fait écouler un mince filet de gazoline qui se vaporise immédiatement. La vapeur produite traverse l'injecteur en déterminant un appel d'air en proportion convenable pour produire un mélange carburé donnant une bonne combustion. Ce mélange se rend dans le petit gazomètre, puis de là il pénètre dans la canalisation. Cet appareil est bien étudié et donne de bons résultats.

MM. Gourd et Dubois (médaille d'argent). — Ce carburateur fonctionne soit par un aspirateur à poids, soit par un petit moteur à eau lorsque l'on peut disposer d'eau en charge. Ces carburateurs se construisent sous de grands volumes, ils peuvent être alimentés d'une manière automatique.

Bien que l'emploi de l'air carburé ne soit ni aussi facile, ni aussi économique que celui du gaz de houille, il rend néanmoins de très réels services dans les ateliers, les habitations, etc., situés hors du périmètre des canalisations de gaz ordinaire.

Production de la force motrice. — Le grand développement qu'ont pris les moteurs à gaz s'explique facilement par les avantages multiples qu'ils offrent à la petite industrie ; dans les endroits ne possédant pas de gaz on peut actionner ces moteurs par de l'air carburé : il suffit d'adjoindre à la machine un carburateur d'un modèle convenable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'allumage du mélange détonant se produit soit par une étincelle d'induction obtenue à l'aide de deux éléments de pile et d'une bobine de Rhumkorff, soit par un bec veilleuse.

Parmi les appareils de ce genre qui figuraient à l'exposition du pétrole, on peut citer ceux construits par la Compagnie française des moteurs à gaz, par MM. Rouart frères, M. Roger, MM. Salomon et Tenting et M. Benz. Ce dernier constructeur avait présenté une voiture à trois roues, mue par une machine de son système. L'huile minérale renfermée dans une caisse en cuivre placée sous le siège tombe goutte à goutte dans le générateur et y forme un gaz détonant qu'on enflamme au moyen d'une étincelle d'induction.

La roue de devant sert de gouvernail. Le moteur peut communiquer au véhicule une vitesse de 16 kilomètres à l'heure; la provision d'essence emmagasinée suffit pour un parcours de 120 kilomètres.

On pouvait voir dans d'autres parties de l'Exposition des moteurs construits pour l'utilisation du pétrole proprement dit: c'est ainsi que, dans l'annexe du quai, les ateliers de Diederich, à Bourges, avaient établi un moteur dit *sécurité* et que M. Noël avait présenté un moteur à huile de pétrole, mais ces appareils, bien que présentant des dispositions très heureuses, n'ont pas encore pris rang dans le matériel industriel.

C'est une lacune qui ne tardera pas sans doute à être comblée, car les moteurs à explosion, eu égard à tous les avantages qu'ils réunissent, nous paraissent devoir être appelés à un grand avenir, mais pour que ce développement puisse s'opérer, il est nécessaire de remplacer la gazoline ou les essences légères, produits d'un prix relativement élevé, d'un maniement difficile, sinon dangereux, par des huiles à point d'inflammation élevé comme sont celles qui servent journellement à l'éclairage.

Le cadre de ce rapport ne permet pas de décrire toutes les applications industrielles du pétrole ou de ses dérivés, elles sont trop multiples et rentrent d'ailleurs dans d'autres classes.

Le rapporteur de la classe 51 ne peut que mentionner le matériel spécial utilisé par ces diverses industries: chauffage des générateurs, imperméabilisation des tissus, teinture, parfumerie, insecticide, préparation des produits chimiques et pharmaceutiques, etc. Des dessins accompagnés de légendes, pour les appareils de grandes dimensions, et les appareils eux-mêmes, lorsqu'ils étaient de dimension restreinte, figuraient dans la galerie circulaire du panorama, complétant ainsi ce musée technique si intéressant et si intelligemment aménagé.

Luçigènes. — Sur la berge de la Seine, au pied du pont d'Iéna, se trouvaient exposés des appareils d'éclairage d'une grande puissance, alimentés par des huiles lourdes de pétrole, de schiste ou de goudron. Nous laisserons à la classe 27 l'appréciation de ces engins au point de vue de leur intensité d'éclairage et du bas prix de la lumière

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'ils fournissent, mais nous dirons quelques mots de la manière dont ils sont construits, parce que c'est à ce point de vue spécial qu'ils ont été examinés et appréciés par le jury de la classe 51.

M. L. Roffo (médaille d'argent). — *Lumière Wells.*

L'appareil comprend un réservoir d'huile et un brûleur.

Le réservoir d'huile est en tôle rivée, sa contenance varie suivant la durée que l'on désire donner à l'éclairage. Il porte à sa partie supérieure :

1° Une petite pompe destinée à comprimer de l'air dans le récipient ;

2° Un tube, d'une hauteur variable, à l'extrémité supérieure duquel se trouve le brûleur.

Le brûleur tout en fer et en acier comprend une tuyère munie d'un très petit orifice par lequel s'échappe l'huile projetée par la pression de l'air du réservoir ; cette huile préalablement vaporisée au contact des parois échauffées du brûleur s'enflamme à la sortie de la tuyère et forme une longue flamme qui se trouve projetée dans l'axe d'une partie conique en fer, percée de trous. Par son passage dans ce cône, elle entraîne une masse d'air suffisante pour porter au rouge blanc les particules de charbon en suspension dans la flamme, en sorte que celle-ci devient extrêmement lumineuse et peut produire une intensité d'éclairage allant jusqu'à 3,500 bougies.

Une petite coupe en fonte placée au-dessous de la tuyère sert à l'allumage; à cet effet, on y verse une petite quantité d'huile ou d'essence qu'on enflamme au moyen d'une corde d'amiante. Lorsque, au bout de 7 à 8 minutes, le brûleur est suffisamment chaud, on ouvre le robinet placé au bas du tube vertical, l'huile pressée par l'air se répand dans le brûleur, se vaporise et s'enflamme.

La chaleur de la flamme communique au brûleur une température suffisante pour assurer la vaporisation instantanée de l'huile, en sorte que la lampe peut marcher automatiquement aussi longtemps que le réservoir peut lui fournir de l'huile.

L'appareil est d'un poids minime, il peut être transporté soit à bras d'homme, soit à l'aide d'un petit chariot dans toutes les parties d'un chantier ou d'un atelier le brûleur, qui peut être placé à telle hauteur qu'on le désire, peut prendre toutes les inclinaisons en sorte que la lumière peut être facilement dirigée vers un endroit déterminé; enfin la dépense d'huile n'excède pas 9 kilogrammes par heure pour les appareils fournissant une puissance d'éclairage de 3,500 bougies.

La grande faveur que cet appareil a rencontrée de la part des constructeurs, des entrepreneurs de travaux publics, du génie militaire, montre que la lampe Roffo répond à un véritable besoin, et les certificats qui ont été produits au jury établissent que son fonctionnement est simple et facile.

Le Lucigène de MM. Rouart frères. — Hors concours. — Est basé sur la pulvérisation des huiles lourdes au moyen d'un courant d'air comprimé.

IMPRIMERIE NATIONALE

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le brûleur, qui est la partie essentielle de l'appareil, porte deux tuyaux munis de robinets de réglage : l'un de ces tubes sert à amener l'huile puisée dans un réservoir, l'autre reçoit de l'air comprimé par un moteur restant en fonction pendant toute la durée de l'allumage de la lampe.

Un pulvérisateur vertical lance dans un cône renversé un puissant jet d'huile intimement mélangé d'air, lequel peut être enflammé avec facilité. Un serpentin en fer logé dans un espace annulaire ménagé autour du cône en fer traversé par la flamme, sert à échauffer l'air avant son entrée dans le pulvérisateur.

Un petit robinet latéral adapté au pulvérisateur sert à mettre le brûleur en veilleuse.

L'appareil s'allume, se manœuvre et s'éteint comme un bec de gaz ordinaire ; sa puissance éclairante dépasse 2,000 bougies.

De même que l'appareil Roffo il peut être placé à la hauteur que l'on désire ; ni le vent, ni la pluie, ni les plus grandes rafales n'ont d'action sur lui, il ne dégage pas de fumée; le seul reproche qu'on puisse lui adresser et qui est d'ailleurs commun avec le bec Roffo, c'est le bruit strident qu'il produit en brûlant, mais, eu égard aux emplois auxquels ces appareils sont destinés, cet inconvénient peut être considéré comme négligeable.

MM. Deutsch, en montrant l'ensemble du matériel relatif à l'extraction et au raffinage du pétrole, en groupant toutes les applications que reçoit ce précieux combustible, ont offert au public une exposition aussi attrayante qu'utile. Le succès considérable que cette remarquable installation a rencontré dans le monde scientifique industriel et commercial a pu récompenser ces habiles industriels des sacrifices qu'ils ont faits et de la peine qu'ils se sont donnée pour mener à bien une entreprise aussi difficile.

Le jury eût décerné à l'unanimité un grand prix à la maison Deutsch si elle ne s'était trouvée mise hors concours par le fait de la nomination de M. Henry Deutsch comme membre du jury de la classe 51.

Il eût été regrettable que d'aussi intéressants documents, qui ont demandé tant de peine pour être rassemblés, fussent de nouveau dispersés ; MM. Deutsch l'ont compris et la plus grande partie des documents composant ce musée du pétrole sont allés enrichir les collections de l'École des mines et du Conservatoire des arts et métiers.

INDUSTRIE DES HUILES VÉGÉTALES.

Malgré le développement considérable qu'a pris, depuis l'Exposition de 1878, l'éclairage au gaz, aux huiles minérales et à l'électricité, la vieille industrie de la fabrication des huiles végétales n'a rien perdu de son importance.

Ce fait, qui tout d'abord peut paraître surprenant, s'explique si l'on considère que l'œil habitué à ce luxe de lumière, qui est une des caractéristiques de la fin de ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

siècle, ne peut plus se contenter de l'éclairage restreint qui suffisait autrefois, en sorte que tout progrès accompli par les nouveaux modes d'éclairage ne fait que surexciter les besoins et amène ainsi un accroissement de production dans toutes les branches de l'industrie de l'éclairage.

MM. Deutsch, qui sont à la fois grands raffineurs de pétrole et importants fabricants d'huile, ont adopté pour l'exposition du matériel de cette industrie le mode si intéressant qu'ils ont suivi pour l'exposition du pétrole; de plus, ils ont établi un parallèle entre les anciens procédés de fabrication et les nouveaux, en montrant d'une part les plans de leurs huileries de Graville et d'Harfleur, qui marchent d'après les anciens systèmes, et d'autre part ceux de leur magnifique usine du Havre où sont installés les divers perfectionnements réalisés soit en France, soit à l'étranger.

Cette usine est actionnée par une machine horizontale à condensation, à détente Correy, de la force de 200 chevaux; elle travaille 60,000 kilogrammes de graines par vingt-quatre heures.

Le mode d'emmagasinage des marchandises par étages, généralement employé, a été remplacé par celui à rez-de-chaussée, qui permet d'isoler en partie les marchandises, de diminuer les risques et de faciliter la manutention. Des transporteurs Decauville relient tous les magasins.

Une voie de raccordement sur le chemin de fer de l'Ouest permet de recevoir facilement les matières premières et d'expédier les produits fabriqués.

Les différents services sont isolés les uns des autres et sont placés dans l'ordre logique de la succession du travail.

La manutention des graines destinées à la fabrication a été réduite au minimum; prises aux piles des magasins, les graines placées dans des wagonnets passent sur des bascules munies de compteurs permettant de contrôler avec exactitude les quantités mises journellement en fabrication; puis elles sont versées directement dans de vastes trémies enfoncées dans le sol où elles sont reprises par des élévateurs qui les conduisent successivement dans les appareils de nettoyage, puis dans les ateliers de fabrication.

Nous ne pouvons décrire en détail le matériel de cette usine, nous nous bornerons à signaler les quelques points suivants qui sont particulièrement intéressants. Les meules en granit, dites *meules de froissage*, ont été supprimées et remplacées par des cylindres lamineurs multiples, mus par courroies, qui font un travail plus complet, plus rapide et plus régulier. Ces appareils lamineurs constituent pour l'huilerie une modification analogue à celle accomplie par le remplacement des meules horizontales par les cylindres, dans les moulins à blé.

Ils remplacent les rouleaux comprimeurs et les meules.

Les presses de froissage ou de première pression sont du système anglo-américain et comportent chacune quinze plateaux superposés en acier coulé et ondulé, sur lesquels se placent les gâteaux de graines légèrement comprimées à la sortie des chauffoirs à vapeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les étreindelles sont supprimées, de simples serviettes en laine suffisent pour envelopper les gâteaux et les maintenir pendant la pression.

Les tourteaux de première pression, du poids moyen de 6 kilogrammes, sont ensuite écrasés au moyen de meules verticales en granit; la farine obtenue est ensuite soumise aux presses de deuxième pression.

Ces presses, dites *presses de rebat*, sont d'un modèle entièrement nouveau; de même que les presses de froissage, elles ne nécessitent pas d'étreindelles.

Chacune d'elles comporte six tiroirs mobiles, garnis intérieurement en bronze, avec plaques perforées et ondulées donnant aux tourteaux l'apparence exacte des anciens tourteaux de presses, tout en permettant un travail plus régulier et plus facile et en procurant une extraction d'huile plus complète.

La manutention dans tous les ateliers s'opère mécaniquement, seul le chargement des presses de froissage et de rebat nécessite l'intervention des ouvriers.

L'huile extraite est recueillie dans des bacs de décantation, d'où elle est enlevée par des pompes qui la dirigent dans des réservoirs spéciaux, exactement jaugés, dans lesquels on contrôle chaque matin la quantité produite la veille avant de la livrer au travail des huiles brutes.

Les presses sont desservies par des accumulateurs de grande capacité fonctionnant à des pressions de 40, 50, 200 et 250 kilogrammes par centimètre carré; les diverses pompes qui les actionnent sont du modèle le plus perfectionné. Tous ces appareils sont reliés à des enregistreurs qui permettent de constater à tout instant leur bon fonctionnement.

Le magasin aux huiles brutes peut contenir dans ses nombreux réservoirs une quantité de plus d'un million de kilogrammes d'huile; le service de ces réservoirs est fait au moyen de plusieurs pompes à action directe Worthington.

L'épuration, installée suivant un système spécial, produit 25,000 kilogrammes d'huile épurée par jour et permet d'obtenir les huiles filtrées et exemptes d'acide au bout de trois jours, tandis que dans les autres épurations on est obligé de laisser reposer l'huile pendant six à sept jours.

L'atelier d'épuration peut contenir plus de 200,000 kilogrammes d'huile.

Le travail dans les ateliers de l'usine est continu et a lieu de jour et de nuit; pour rendre la tâche moins pénible aux ouvriers, on a établi de vastes dortoirs où ils peuvent se reposer. A chaque dortoir se trouvent annexés une cuisine et un réfectoire dans lesquels les ouvriers peuvent préparer et conserver leurs aliments.

Les nombreuses photographies de l'usine du Havre permettaient de se rendre compte de son importance, de l'agencement des différents services et de la construction des divers appareils de fabrication.

Un grand plan en relief complétait cette belle exhibition.

Quelques chiffres permettront de compléter ce rapide exposé et de faire ressortir l'importance du travail produit dans les huileries de MM. Deutsch.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

INDUSTRIE DES HUILES VÉGÉTALES D'ÉCLAIRAGE.

Établissements de MM. les fils de A. Deutsch.

USINES.	GRAINES TRITURÉES.		PRODUCTION ANNUELLE.			CONTENANCE des MAGASINS.		OUVRIERS.		NOMBRE de PRESSES.		MOTEURS.	CONSOMMATION DE CHARBON Fines anglaises.
	Journellement.	Annuellement.	Huile brute.	Tourteaux.	Huile épurée.	Épuration.	Huiles brutes.	hommes.	femmes.	frissage.	rebat.		
HUILERIES :	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.					ch^r.	tonnes
Le Havre.....	60,000	18,000,000	6,845,000	10,800,000	7,500,000	200,000	1,000,000	100	12	12	32	200	1,400
Graville.....	20,000	6,000,000	2,280,000	3,600,000	3,000,000	60,000	150,000	35	5	4	12	40	432
Harfleur.....	20,000	6,000,000	2,280,000	3,600,000	1,800,000	50,000	250,000	35	5	6	12	35	378
ÉPURATION :													
La Villette.....	"	"	"	"	4,500,000	"	"	"	"	"	"	"	"
Totaux.....	100,000	30,000,000	11,400,000	18,000,000	16,800,000	"	"	"	"	22	56	275	2,250

Cette exposition était complétée par une remarquable collection de graines oléagineuses traitées par la maison. On remarquait principalement les colzas, lins et chènevis indigènes ; les graines exotiques, colzas Guzerat jaune et brun des Indes, et toutes les nombreuses variétés de colzas de ce grand pays producteur : Soumeance, Ferrozepore, Delhi, colza de Calcutta, colza de la côte de Coromandel, etc.; les gros lins bruns et bigarrés de Bombay ; toutes les variétés de colzas et de navettes récoltés en Europe, et enfin les graines de la Plata et du Japon. A côté de ces graines figuraient les ricins, les arachides des Indes et de la côte d'Afrique, les diverses variétés de sésame ainsi que les graines auxiliaires : pavots, cameline, coton, etc.

L'exposition de MM. Deutsch montrait aussi les différents types d'huiles obtenues avec ces graines ainsi que de beaux spécimens d'huile doublement épurée et dépourvue d'acidité, destinée aux lampes de luxe.

Enfin on remarquait quelques types de tourteaux employés, les uns pour la nourriture du bétail, les autres pour l'engrais des terres et qui sont expédiés, non seulement dans toute la France, mais encore par navires entiers au Danemark, en Suède et en Norvège.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

IX

PROCÉDÉS ET APPAREILS DE LA BLANCHISSERIE.

Nombre des exposants : 29.

France	15
États-Unis	4
Suisse	3
Norvège	3
Autriche-Hongrie	1
Espagne	1
Angleterre	1
Belgique	1

HORS CONCOURS.

M. Piet, membre du jury de la classe 27.

RÉCOMPENSES DÉCERNÉES.

Médaille d'or, M. Dolph (A. M.) [États-Unis]		1
Médailles	d'argent	3
	de bronze	6
Mentions honorables		8

Les appareils à lessiver le linge étaient largement représentés à l'Exposition, tant dans la section française que dans les sections étrangères.

Tous les appareils destinés à l'usage domestique reposent sur le principe bien connu appliqué depuis longtemps pour produire la circulation de la lessive dans un vase convenablement chauffé; certains réalisaient le problème d'une manière simple et pratique, mais aucune disposition réellement nouvelle n'a été introduite dans ces appareils depuis la dernière Exposition; c'est pourquoi le jury n'a pas pensé qu'on pût attribuer à cette industrie une récompense élevée.

Son attention s'est plus particulièrement portée sur le matériel des blanchisseries

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

industrielles : appareils de lessivage, de lavage, de repassage, etc., dont plusieurs spécimens présentés ont paru très bien étudiés et exécutés.

La section américaine renfermait des appareils fort bien agencés, d'une très grande puissance de production et donnant des résultats véritablement remarquables.

MM. Piet et Cie. Hors concours. — Cette importante maison dont les appareils sont adoptés par les hôpitaux de l'Assistance publique et par les Ministères de l'intérieur (asiles de convalescents, d'aliénés, maisons centrales), de la guerre et de la marine, avait exposé les principaux types de sa fabrication ; parmi ceux qui ont le plus spécialement été appréciés par le jury, il convient de citer :

1° Un système d'appareil à lessiver, permettant de produire des jetées de lessive à basse température (50 degrés centigrades). Ce résultat est atteint par l'emploi d'un dispositif à air comprimé actionné par l'eau en charge. Après avoir fait son office, l'eau est recueillie dans des bassins et utilisée pour le lavage et les rinçages du linge.

L'appareil est complété par un treuil, à arrêt constant dans toutes les positions, qui permet de soulever le couvercle de l'appareil avec la plus grande facilité à toutes les hauteurs désirées.

2° Des roues à laver avec batteur intérieur fonctionnant soit à bras, soit par courroies ; dans les machines actionnées mécaniquement l'arbre du pignon denté qui reçoit le mouvement porte deux poulies de diamètres différents ; l'une est munie d'une courroie droite donnant la rotation dans le sens du mouvement des batteurs, l'autre entraîne une courroie croisée donnant la décharge automatique du linge. L'embrayage de l'une ou de l'autre de ces poulies se fait par un double manchon à friction, actionné par un levier à vis qui permet de rattraper l'usure et assure toujours l'entraînement.

3° Des repasseuses avec fer placé au-dessus du rouleau compresseur, lequel, par un mouvement de pédale, peut s'abaisser pour permettre d'engager facilement les pièces de linge.

Ces machines sont chauffées au gaz ou à la vapeur et peuvent fonctionner au pied ou par un moteur.

4° Des séchoirs, portatifs et fixes, avec ventilations énergiques, produisant un séchage rapide et économique.

M. Dolph (A.-M.). États-Unis (Cincinnati-Ohio) [médaille d'or]. — Exposition très complète de tout le matériel de la blanchisserie.

Machine à laver. — Cette machine, construite en métal et en bois, se compose d'un cylindre perforé, tournant dans une auge partiellement remplie d'eau. Des bras convenablement placés à l'intérieur du cylindre obligent le linge à traverser l'eau, le soulèvent au-dessus du liquide pour le laisser ensuite retomber avec force ; le choc produit fait pénétrer l'eau ou la lessive à travers la masse à laver et active l'opération.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comme le mouvement est automatiquement donné dans un sens et dans l'autre, toutes les parties du linge subissent alternativement des chocs multiples qui assurent un bon travail; par suite de cette diversité dans le mouvement, elles ne sont pas sujettes à se nouer, à se tordre et à se déchirer, comme cela se produirait infailliblement avec une rotation dans un sens unique.

Des conduits convenablement disposés permettent l'admission de l'eau chaude ou froide et de la vapeur. Un système automatique empêche l'arrivée de l'eau en excès.

Des dispositifs fort bien agencés permettent d'assurer la fermeture de la porte pendant la rotation du cylindre et donnent toute facilité pour dégager complètement l'ouverture lors du déchargement.

Machines à sécher. — Elles se distinguent par le système imaginé pour balancer le linge dans le milieu échauffé.

Machines à empeser les cols et les manchettes, constituées par un cylindre perforé tournant dans une cuvette remplie d'empois bouillant. Les objets à empeser sont renfermés dans ce cylindre dont la construction présente de très grandes analogies avec la machine à laver décrite ci-dessus.

Une machine à empeser les chemises permet d'imprégner d'empois bouillant le devant, le col et les manchettes des chemises tout en réservant le corps. L'excès d'amidon est expulsé automatiquement en sorte que la pièce se trouve sortir de la machine toute prête à être repassée.

Machines à repasser. — Constituées par une cylindre chauffé (au gaz pour les petites pièces, cols et manchettes, à la vapeur pour les grosses pièces, draps, serviettes, etc.), tournant contre une série de rouleaux élastiques placés les uns au-dessus des autres. Le linge à repasser circule entre ces rouleaux. La machine est pourvue de gardes pour éviter les accidents. Quand on veut communiquer aux objets repassés un grand poli, comme cela est nécessaire pour les cols et les manchettes par exemple, on modifie la vitesse du rouleau chauffé par rapport à celle des rouleaux presseurs, de façon à produire un glissement qui détermine le polissage.

Toutes ces machines ont fonctionné sous les yeux du jury.

MM. Bradfort (Thomas) and C° (Grande-Bretagne) [médaille d'argent]. — Machines à laver le linge, construites en bois et en bronze, permettant l'emploi de l'eau froide et de l'eau chaude. Elles ne possèdent aucun mécanisme intérieur qui puisse détériorer le tissu, même le plus fin. Leur construction est simple et solide, elles sont munies de calandres à rouleaux de caoutchouc pour l'essorage du linge. Leur mouvement est reversible.

Un des modèles exposés était de très grandes dimensions; il peut contenir 150 chemises et permet de faire le lessivage complet en un quart d'heure.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Grandes machines à repasser (cylindre de 3 m. o48 de longueur) à mouvement indépendant, circulaire et latéral. Le cylindre chauffeur est ventilé de manière à laisser échapper la buée.

Les essais faits devant le jury ont montré que ces machines permettaient de repasser de très grandes pièces — nappes, draps, rideaux de mousseline, etc., — avec une très grande perfection. L'un des cylindres peut se soulever pour permettre d'engager ou de retirer les pièces, il peut recevoir une pression convenable donnant au linge un très beau poli.

Cette maison exposait aussi des petites machines à repasser les cols et les manchettes.

M. Henri Chasles (médaille d'argent). — Exposition très complète de matériel de blanchisserie. Les lessiveuses présentées sont de grandes dimensions, leur couvercle peut s'élever ou s'abaisser avec la plus grande facilité par l'emploi d'un système hydraulique. Les machines à laver et à rincer le linge imaginées par ce constructeur présentent cette particularité que leur ouverture est libre; le linge est retenu dans l'intérieur du cylindre par une cloison verticale qui règne dans toute la longueur sur un demi diamètre.

Le rinçage s'opère dans un courant d'eau continu.

Machine à repasser. — Cuvette demi-cylindrique chauffée par la vapeur, sur laquelle vient s'appliquer un cylindre garni de calicot. Une série de trous pratiqués dans la cuvette permet à la buée produite pendant le séchage de s'échapper hors de la machine.

M. A. Bentzen (États-Unis) [médaille de bronze]. — L'appareil exposé se compose d'une caisse parallélépipédique munie sur une de ses faces d'un disque armé de huit bras en forme de cônes, et pouvant recevoir un double mouvement ascendant et circulaire. Ce disque ne touche pas le fond de la caisse. Le mouvement communiqué au linge le bat en même temps qu'il le frotte et imite assez bien le travail manuel des blanchisseuses.

L'appareil est de petite dimension; il est mû à la main et exige très peu de force; il peut laver six à huit chemises dans l'espace de cinq minutes.

M. Weis (Autriche-Hongrie) [médaille de bronze]. — Machine à laver le linge, construite entièrement en métal, très bien exécutée.

M. Vizet (États-Unis) [médaille de bronze]. — Machine à laver de très petite dimension, composée d'un cuvier en bois de forme conique, dont la périphérie est garnie de lamelles en bois destinées à opérer un frottement sur le linge. Au centre de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce cuvier se trouve un arbre, à deux tiges concentriques, portant chacune des palettes. Un système d'engrenages coniques en relation avec une manivelle permet de communiquer à ces palettes des mouvements circulaires de sens contraire.

Machine bien comprise, bien exécutée et d'un prix modique.

M. Kjervig, à Christiania (Norvège) [médaille de bronze]. — Machine à laver, formée par un cylindre en zinc, muni intérieurement de brosses formant chicanes. Cette roue tourne dans une cuve en zinc contenant l'eau ou la lessive.

Appareil de très petite dimension destiné à l'usage domestique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

X

INSTRUMENTS DE LABORATOIRE.

Nombre des exposants : 23.

Français	16
Belges	3
Anglais	1
Russe	1
Suisse	1
Chilien	1

HORS CONCOURS.

MM. Billault, expert de la classe 51.
P. Rousseau, membre suppléant du jury de la classe 45.

GRAND PRIX.

Ministère des finances (Direction générale des manufactures de l'État).... France.

MÉDAILLES D'OR.

MM. Ph. Pellin..... France.
Alvergniat..... France.
Laurent..... France.
Wiesnegg..... France.

Médailles	d'argent	3
	de bronze	5
Mentions honorables		3

Ministère des finances (Direction générale des manufactures de l'État) [grand prix]. — Cette Administration avait fait figurer dans le pavillon des manufactures de l'État divers appareils de laboratoires : volumètre à mercure, eudiomètre de Regnault modifié, trompes à mercure, appareils à déplacement, appareils pour le dosage de l'ammoniaque, etc., utilisés dans le laboratoire de M. Schlœsing à la Manufacture des tabacs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tous ces instruments ont été construits par M. Gagnebien, surveillant du laboratoire des tabacs, très habile dans l'art de souffler le verre, de graduer les tubes, vases, etc., et de monter les appareils les plus variés.

M. Gagnebien est devenu pour le Directeur du laboratoire des tabacs un auxiliaire presque indispensable dont la collaboration date de vingt-cinq ans. Le jury de 1878 avait attribué une médaille de bronze à M. Gagnebien; cette année on lui a décerné une médaille d'argent, juste récompense des services qu'il a rendus au savant éminent sous l'inspiration et sous les ordres duquel il a travaillé depuis si longtemps.

MM. Rousseau (Paul) et Cie. Hors concours. Membre suppléant du jury des récompenses classe 45. — Expose différents spécimens d'appareils de laboratoire : balance de précision, appareils à filtration rapide de Dufour, à déplacement de Lelièvre, de Pellet pour l'analyse des betteraves, etc., ainsi qu'un nouvel alambic, système P. Rousseau et Lelièvre, spécialement destiné au titrage des vins et permettant l'emploi des grands alcoomètres poinçonnés.

M. Ph. Pellin (ancienne maison J. Duboscq) [médaille d'or]. — L'exposition de cette maison était remarquable à plus d'un titre. Parmi les appareils qui ont plus spécialement attiré l'attention du jury nous citerons les suivants :

Spectro-colorimètre d'Arsonval et Ph. Pellin. — Cet appareil est un colorimètre, modèle Duboscq, dont on remplace l'oculaire par un spectroscope; il est destiné à mesurer l'intensité relative de deux liquides colorés et à déterminer si les matières colorantes observées dans chaque liquide sont identiques. L'intensité des bandes d'absorption produites dans les spectres peut, dans une certaine mesure, permettre de doser les quantités de couleurs dissoutes.

Spectro-photomètre différentiel d'Arsonval. — Comme tous les spectro-photomètres cet appareil se compose d'un spectroscope dont la fente est divisée en deux parties; ce qui le distingue des appareils similaires, c'est que les variations de chacune des deux parties de la fente se font simultanément, en sens inverse et dans la même proportion.

Une simple lecture sur l'échelle donne immédiatement le rapport des intensités lumineuses ou celui des pouvoirs absorbants.

Réfractomètre à lentille de Piltschikoff. — Cet instrument sert à mesurer les indices des liquides dont on ne possède qu'un faible échantillon; il se compose :

1° D'un collimateur avec une double fente en croix;

2° D'une lentille creuse formée par la juxtaposition d'un verre plan et d'un ménisque concave.

C'est dans cette lentille que l'on introduit le liquide à observer;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° D'un écran monté sur un tube de tirage sur lequel vient se projeter l'image de la double fente obtenue par la lentille creuse remplie de liquide;

4° D'une loupe pour la mise au point de l'image sur l'écran.

Les différentes positions de l'écran par rapport à la lentille, exprimées en millimètres, permettent de calculer l'indice à l'aide de la formule

$$n = P + \frac{Q}{F},$$

dans laquelle :

n est l'indice cherché;

P et Q, deux constantes, propres à chaque appareil et qu'on détermine au moyen de deux liquides d'indices connus;

F, la longueur en millimètres lue sur le coulant de l'écran.

Réfractomètre de Dupré. — Cet appareil se compose d'un collimateur à réticule et d'une lentille d'observation, pivotant autour d'un axe vertical passant par le centre d'un plateau; sur ce plateau tourne un disque portant deux prismes de 60 degrés, collés en sens inverse. L'un de ces prismes est un prisme plein en crown, d'indice connu; l'autre est creux et destiné à recevoir les liquides dont on veut déterminer l'indice de réfraction. Le disque peut être rendu solidaire, soit avec le collimateur et dans ce cas être fixe, soit avec la lunette et alors être entraîné avec elle. A l'aide de ces dispositions on peut faire arriver le rayon incident normalement à la surface du prisme le moins réfringent ou le faire émerger normalement à cette même surface.

En faisant deux lectures, l'une à droite et l'autre à gauche, et en prenant la demi-somme de ces lectures, on peut calculer l'indice en fonction de quantités connues.

L'appareil est accompagné d'un tableau sur lequel est figurée une courbe dont les ordonnées sont les déviations croissantes par rapport au crown et les abscisses les indices calculés correspondants.

A l'aide de ce graphique on peut déterminer rapidement l'indice avec quatre décimales, un millimètre représentant une minute ou deux unités de la quatrième décimale des indices.

Dispositifs particuliers pour photographies microscopiques. — Le microscope d'observation est maintenu en position fixe sur un socle en fonte; une console en fonte faisant corps avec le socle porte une glissière sur laquelle est fixée la chambre photographique.

Pour obtenir la photographie d'un objet vu au microscope, on amène la glissière sur une butée, la chambre noire se trouve placée juste au-dessus du microscope et un tube à mouvement de baïonnette descend et coiffe le microscope.

L'appareil étant très stable, les vibrations ne sont pas à redouter, en sorte que les épreuves sont très nettes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Spectroscope à vision directe, modifié par Cornu. — Dans ce spectroscope, on peut facilement changer la dispersion par l'addition ou la suppression d'un second prisme. La lunette d'observation ainsi que le micromètre se déplacent au moyen d'une vis tangente.

Ces dispositions assurent à l'instrument une grande précision et une grande stabilité.

Cornue inexplosible pour la préparation de l'oxygène. — Elle se compose de deux parties en fer: l'une est destinée à recevoir le mélange de chlorate de potasse et de bioxyde de manganèse, l'autre sert de couvercle et porte le tube abducteur pour le gaz.

Ces deux parties s'emboîtent au moyen de deux rainures circulaires à gorge; le joint, fait avec des cendres tamisées, présente une résistance de fermeture équivalente à une colonne d'eau de 0 m. 40. Ce joint est plus que suffisant pour faire passer le courant gazeux à travers le flacon laveur et si, par accident, la pression interne venait à s'accroître brusquement, le joint n'offrant par lui-même aucune résistance sérieuse fournirait à l'instant une issue qui met à l'abri de toute complication ultérieure.

Cette disposition ingénieuse réalise un progrès nouveau pour la préparation rapide et commode de l'oxygène dans les laboratoires.

Lanterne pour l'éclairage micrographique du docteur Roux. — Au centre d'une petite lanterne, munie d'un réflecteur et d'un condenseur, se trouvent deux tubes concentriques: dans celui du centre arrive l'oxygène, dans l'intervalle des deux tubes, l'hydrogène. Les deux gaz se mélangent à leur sortie des orifices et portent à l'incandescence une perle de magnésie maintenue au centre de la flamme au moyen d'un fil de platine.

La dépense d'oxygène est de 30 litres à l'heure. La perle de magnésie peut durer soixante heures.

La vitrine de M. Pellin contenait en outre: des saccharimètres, des spectroscopes, des colorimètres, etc. Tous les objets exposés sont construits avec l'élégance, le soin et l'habileté qui ont fait la réputation si justement méritée du regretté M. J. Duboscq; le jury a été heureux de constater que M. Ph. Pellin avait su maintenir la maison au niveau élevé qu'elle a atteint et que les savants trouveraient en lui le concours dévoué et intelligent qui leur est si précieux pour leurs travaux.

M. Alvergniat (médaille d'or). — L'exposition de cette maison était particulièrement remarquable, tant par le nombre et la diversité des objets exposés que par la perfection de la fabrication.

A côté des appareils en verre soufflé, qui ont fait la juste renommée de M. Alvergniat, figuraient, non pas toutes les créations faites depuis 1878, car le nombre en eût été trop considérable, mais un choix judicieux donnant une haute idée de l'habileté de l'artiste.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut citer entre autres les appareils suivants :

Pompe-trompe à mercure. — La réunion sur un même bâti de la pompe et de la trompe à mercure présente un certain nombre d'avantages : le vide très approché étant rapidement obtenu avec la pompe à mercure; peut être poussé à ses dernières limites en faisant agir la trompe à mercure, il suffit pour cela de couper la communication avec la pompe en manœuvrant un seul robinet. De plus, dans les trompes Springel et dans les autres instruments du même genre, le mercure, qui par sa chute détermine l'aspiration, vient se rassembler à la partie inférieure de l'instrument dans une cuvette d'où on est forcé de l'extraire avec une capsule pour le remonter dans le récipient supérieur; dans les instruments actuels, auxquels on a appliqué la loi des vases communiquants, il suffit de tourner un robinet mettant en communication le réservoir inférieur contenant le mercure avec la bouteille mobile de la pompe descendue au bas de sa course pour renvoyer ce mercure dans l'ampoule mobile; un simple tour de manivelle permet ensuite de remonter le mercure à la partie supérieure du bâti.

Baromètre à échelle compensée. — Dans ce nouvel instrument une seule lecture permet de connaître la pression barométrique. Il n'y a par conséquent pas à tenir compte du déplacement du mercure dans la cuvette, la division établie sur le tube barométrique compense les variations du niveau.

Cage à dessiccation de Dupré. — Permet de conserver à l'abri de l'humidité un grand nombre de creusets aux capsules. L'air intérieur de cette cage est maintenu sec par son contact avec une large surface d'acide sulfurique ou de chlorure de calcium. Toutes les tablettes sont en glaces et en laiton nickelé. La fermeture de l'appareil est rendue hermétique par l'emploi d'un boudin en caoutchouc.

Appareil à distillations fractionnées de Dupré. — La disposition nouvelle de cet instrument consiste en un robinet dont la clef est percée d'un trou unique; si l'on fait tourner la clef sur elle-même ce trou vient se présenter en regard de six tubes soudés sur la circonférence du boisseau; on peut ainsi recueillir séparément avec la plus grande facilité six produits dont les points d'ébullition se trouvent à six températures différentes.

Appareil de Dupré pour la densité des gaz. — Cet appareil n'est qu'une modification de celui de Bunsen : il enregistre sur un compteur à secondes le temps qu'a mis à s'écouler par un trou extrêmement fin, pratiqué en mince paroi, un volume déterminé de gaz. Le volume gazeux se mesure lui-même et la marche et l'arrêt du compteur sont commandés par un électro-aimant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Voltamètres et piles étalons de Minet. — Le premier de ces instruments permet de connaître l'intensité d'un courant par la mesure du gaz dégagé par le passage de ce courant dans de l'eau; le second possède une force électromotrice constante.

Thermomètres en verre vert recuit pour distillations. — Le déplacement du zéro, inévitable pour tous les instruments en cristal, employés à la détermination des hautes températures, peut être considérablement atténué par l'emploi du verre vert recuit pendant longtemps à une température très élevée.

Si dans un thermomètre de ce genre on introduit un gaz inerte au-dessus de la colonne mercurielle, on peut observer des températures notablement supérieures au point d'ébullition du mercure.

Le jury a également remarqué les tubes dessiccateurs à billes de verre, les burettes et pipettes à déversement, la colonne à distiller de Gayon, la trompe aspirante et soufflante, les dessiccateurs à robinets de verre, etc.

Tous ces instruments avaient été placés au palais des Arts libéraux et se trouvaient habilement disposés dans une salle figurant l'installation d'un laboratoire de chimie moderne; par suite d'une erreur de classement leur appréciation n'a été renvoyée à l'examen du jury de la classe 51 qu'à une époque très tardive, alors que les membres étrangers avaient déjà quitté Paris; c'est pourquoi on n'a attribué à M. Alvergniat qu'une médaille d'or, rappelant celle qu'il a obtenue en 1867.

Si cette intéressante exposition avait pu être examinée par l'ensemble du jury, il n'est pas douteux qu'elle eût obtenu un grand prix, juste récompense d'un ensemble de travaux accomplis depuis plus de vingt-cinq ans par un artiste habile, qui, dans la mesure de ses forces, a contribué aux progrès de la science moderne en prêtant aux savants un concours intelligent et en mettant à leur disposition une habileté consommée.

M. Ernest Laurent (médaille d'or). — En 1878, MM. Laurent père et fils avaient exposé des machines à plisser les filtres en papier, pour lesquelles ils avaient obtenu une médaille d'or.

Depuis cette époque, M. E. Laurent a beaucoup perfectionné sa fabrication, et il a fait figurer à l'Exposition actuelle les nouveaux modèles de ses machines.

Dans les anciennes machines, le mouvement de va-et-vient des couteaux plieurs était produit par des cames simples et des ressorts antagonistes; ce mouvement était souvent incomplet et occasionnait des irrégularités dans le plissage; il a été remplacé par un système de cames doubles dont le glissement est d'une grande douceur et d'une régularité irréprochable.

Les lames d'amenage des feuilles de papier découpé étaient anciennement trop massives et imparfaitement guidées; elles ne présentaient pas toujours la feuille de papier dans une position bien déterminée, en sorte que le centre du plissement ne coïncidait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus avec le centre du disque de papier découpé et que par suite le filtre était défectueux.

Actuellement les lames d'amenage sont constituées par des bandes d'acier très minces et très bien nervées, qui se meuvent dans des coulisses munies de galets en acier. L'ensemble constitue un chariot guidé qui vient passer avec une très grande régularité au-dessous des trémies contenant les disques de papier découpé: le froissement des feuilles est ainsi évité, en sorte que la machine fournit des produits plus réguliers et que le déchet se trouve considérablement réduit.

Les filtres de M. Laurent sont très appréciés et rendent de très grands services dans les laboratoires et dans l'industrie, aussi leur fabrication a-t-elle pris un développement considérable. En 1878 elle était de 1 million, en 1888 elle a dépassé 11 millions.

M^me^ veuve Wiesnegg (médaille d'or). — Cette maison qui a rendu de si grands services aux laboratoires a soutenu sa vieille renommée; elle avait exposé une grande quantité d'appareils nouveaux, parmi lesquels il convient de citer tout particulièrement ceux créés pour la bactériologie.

La collection de ces appareils comprenait :

Les étuves à retour de flamme pour le flambage et la stérilisation de la verrerie, permettant d'atteindre facilement une température de 200 à 250 degrés;

Les appareils à stériliser les bouillons et autres matières destinées aux cultures : autoclaves Chamberland, filtres Chamberland, chaudières à eau bouillante et à disques, bains-marie pour stériliser le sérum, bains-marie à chlorure de calcium, étuves du docteur Poupinel pour stériliser les ouates, instruments de chirurgie et tous les objets de pansement;

Les étuves à température constante pour le développement des cultures : étuves Pasteur, Schribeaux, d'Arsonval, Babès;

La chambre chaude de Vignole pour les observations microscopiques;

Le calorimètre de Richet, etc.

L'enfouissement des animaux, chiens, cobayes, lapins, etc., qui meurent après avoir été inoculés, ne laisse pas de préoccuper vivement les hygiénistes; pour remédier aux inconvénients qui résultent de cette pratique, on peut avoir recours à la crémation qui peut s'opérer avec facilité dans des fours à gaz. Le modèle exposé par la maison Wiesnegg permet l'incinération complète d'un chien de plus de 20 kilogrammes en deux heures de temps. Cette durée peut être abaissée à trois quarts d'heure si le four est maintenu chaud par un service courant.

Plusieurs de ces fours fonctionnent déjà dans divers laboratoires de France et d'Italie.

Parmi les appareils nouveaux, à l'usage des laboratoires, on peut citer :

Les fourneaux à incinération de Dupré, pouvant être utilisés avec avantage dans les laboratoires où les inoculations sont nombreuses;

IMPRIMERIE NATIONALE.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le four Courtonne, plus spécialement destiné aux raffineries et aux fabriques de sucre. Il est disposé pour pouvoir être chauffé à volonté sur le tiers, les deux tiers ou la totalité de sa longueur. La dépense de gaz se trouve ainsi proportionnée au travail à accomplir;

Le four surbaissé, indispensable aux laboratoires de manipulations;

L'appareil évaporatoire de M. J. W. Günning, spécialement destiné à la dessiccation des sirops sucrés avant leur incinération. Cet appareil, introduit en France par M. C. Bardy, très ingénieusement combiné, permet un travail rapide; il est employé exclusivement à tous autres dans les laboratoires de l'Administration des contributions indirectes, où il rend les plus grands services;

La colonne distillatoire de Claudon et Morin, l'appareil évaporatoire de Yvon, l'ixomètre de Barbey, etc.

Le brûleur à sulfure de carbone de Ckiandi destiné à la désinfection des salles des hôpitaux ou des locaux contaminés par des cholériques ou par des malades atteints de typhus, de variole, de phtisie, de diphtérie, etc.

Ce brûleur peut encore être utilisé avec succès à diverses applications industrielles : désinfection des salles des magnaneries, blanchiment des étoffes de soie, de laine, des éponges, des chapeaux de paille, etc.

Son ingénieuse construction en permet un emploi très facile et sans danger.

M. Sourdat (médaille d'argent). — Les turbines-essoreuses que M. Sourdat construit pour les laboratoires ont reçu des améliorations qui en rendent encore le fonctionnement plus simple et plus efficace. Leur construction actuelle est beaucoup plus robuste que celle des appareils qui figuraient à l'Exposition de 1878; le mode d'entraînement du panier, autrefois obtenu par une corde sans fin, se produit maintenant par des cônes à friction, comme dans les appareils industriels.

Un même bâti peut recevoir deux paniers de diamètres différents (0 m. 14 et 0 m. 20); ces paniers parfaitement centrés peuvent faire jusqu'à 2,500 tours par minute.

L'essoreuse peut être en un instant démontée de toutes pièces pour les pesées et les nettoyages; enfin on peut utiliser le mécanisme pour actionner un ventilateur, il suffit de remplacer l'essoreuse et sa cuve par un arbre à palettes et un tambour ayant les mêmes dimensions.

MM. Bredeville et Paturel (médaille de bronze). — Avaient exposé une belle collection d'ustensiles en nickel pur massif, à l'usage des laboratoires de chimie et de la pharmacie.

Le nickel est un métal très dur, résistant à presque tous les acides, il ne s'oxyde pas sensiblement au contact de l'air, il est plus infusible que le fer et peut supporter les températures les plus élevées; ces qualités le rendent éminemment propre aux usages des laboratoires; MM. Bredeville et Paturel sont, on peut le dire, les premiers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui aient réalisé cette application en France, ils ont rendu par suite un service signalé aux chimistes en mettant à leur disposition pour des prix modiques des instruments pouvant dans une certaine mesure et dans beaucoup d'emplois remplacer les vases en platine et en argent.

Société centrale de produits chimiques (ancienne maison Rousseau) [médaille d'argent]. — Exposition très complète d'instruments de laboratoire en verre soufflé, thermomètres, régulateurs, etc.; appareil Orsat, balance et accessoires pour l'essai des ciments; appareils pour l'emploi du chlorure de méthyle, etc.; balance apériodique de Curie.

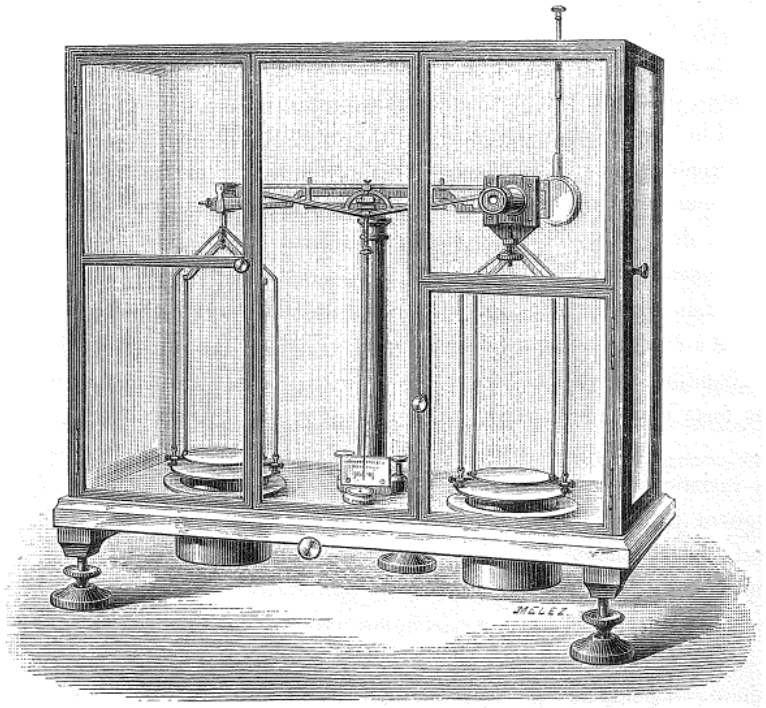


Fig. 24.

Ce dernier instrument mérite une mention toute spéciale.

La balance Curie, comme toutes les balances de précision, est logée dans une cage vitrée; elle possède trois organes principaux :

1° Un micromètre portant un grand nombre de divisions et fixé à l'une des extrémités du fléau;

2° Un microscope fixé dans les parois de la cage et braqué sur le micromètre. Ce microscope possède un réticule et un oculaire portatif;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° Des amortisseurs à air Les cloches ou parties mobiles des amortisseurs sont suspendues au-dessous des plateaux. Pendant le mouvement de la balance elles pénètrent plus ou moins dans les cuvettes ou parties fixes des amortisseurs.

Ces amortisseurs à air[1] constituent la partie réellement nouvelle de l'appareil; ils empêchent les oscillations de se produire et permettent ainsi ainsi au fléau de se placer immédiatement dans la position d'équilibre.

Ils se composent d'une ou de plusieurs espèces de cloches (cylindres concentriques avec fond) suspendues au-dessous des plateaux et entraînées comme ceux-ci dans le mouvement de la balance.

Au-dessous de ce système de cloches, se trouve un autre système analogue, mais renversé et fixe.

Les cylindres des systèmes supérieur et inférieur sont de diamètres un peu différents, si bien qu'ils sont emboîtés les uns dans les autres, mais sans se toucher jamais.

La coupe donne un système en chicane.

Quand le fléau s'incline, le système supérieur pénètre plus ou moins dans le système inférieur, la quantité d'air varie sous la cloche. L'air ne peut pas circuler instantanément par le chemin long et rétréci qu'il est obligé de suivre entre les cylindres; il en résulte des variations de pression qui durent un temps suffisant pour produire l'amortissement.

On choisit ordinairement un amortissement tel que le mouvement de la balance commence à être apériodique (c'est-à-dire que le fléau se rapproche toujours de sa position d'équilibre sans la dépasser jamais) sans charge dans les plateaux; avec la charge la plus forte dans les plateaux, on a alors deux ou trois oscillations rapides avant l'arrêt.

Les variations de pression dans les amortisseurs sont toujours très faibles; elles n'atteignent jamais 1/50 de millimètre d'eau dans le fonctionnement des balances; elles suffisent cependant pour donner des forces antagonistes qui tendent à s'opposer au mouvement de la cloche.

Avec cette balance, le commencement des pesées se fait comme de coutume, à l'aide d'une série de poids, mais on s'arrête dans les essais successifs à un poids relativement élevé (au poids de 0 gr. 2 par exemple); on laisse ensuite le fléau s'incliner sous l'effet de la petite différence de charge qui reste entre les deux plateaux. La division du micromètre qui correspond au fil du réticule du microscope varie avec l'inclinaison du fléau et donne la différence de charge avec une grande approximation (au 1/10 de milligramme par exemple).

On évite donc ainsi la partie la plus longue et la plus délicate de la pesée.

Le micromètre est obtenu par un procédé photographique, il porte des chiffres et des traits distants de 1/20 à 1/50 de millimètre. Ce micromètre est rectiligne, les

[1] Curie. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. CVIII, p. 663.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

divisions sont équidistantes et la lecture est faite au réticule du microscope et proportionnelle à la tangente de l'angle d'inclinaison du fléau.

Cette tangente est précisement proportionnelle à la différence de poids.

On constate, par expérience, que la précision des lectures est supérieure au 1/200 de la plus grande différence de charge qui peut être lue au micromètre.

La sensibilité est indépendante de la charge placée dans les plateaux.

Les observations précises se faisant au microscope, on est amené à donner à l'appareil une sensibilité angulaire beaucoup plus faible que dans les balances ordinaires et par conséquent à augmenter considérablement la distance entre l'axe de suspension et le centre de gravité du fléau. Cette circonstance favorise l'indépendance de la sensibilité et de la charge, car une très petite différence de niveau entre les arêtes des trois couteaux produit alors beaucoup moins d'effet pour diminuer la sensibilité; elle procure encore un autre avantage, c'est que les mouvements de la balance sont très rapides, la durée d'oscillation étant à peu près proportionnelle à la racine carrée de la distance entre l'axe de suspension et le centre de gravité.

Bien que la balance Curie soit d'invention toute récente, elle est déjà connue et appréciée dans un grand nombre de laboratoires.

M. Dziegielowski (médaille de bronze). — L'appareil présenté est destiné à l'analyse des matières sucrées : betteraves, cannes à sucre, etc., ou des résidus de fabrication : cossettes épuisées, bagasses, noir animal, écume, etc.

C'est un petit appareil à déplacement construit entièrement en verre dans lequel la matière à épuiser se trouve constamment maintenue à la température d'ébullition de l'agent d'épuisement — généralement l'alcool — et par conséquent dans les meilleures conditions pour une opération rapide.

Le liquide extracteur se rassemble directement dans un petit matras jaugé où il peut être soumis à la décoloration par le sous-acétate de plomb avant la polarisation.

Toutes les parties de cet appareil ont été combinées de telle sorte que l'épuisement se fasse sans aucune perte; leur poids a été restreint autant que possible, de façon que les pesées puissent commodément être opérées sur des balances de précision.

A l'aide d'une légère modification on peut procéder à l'épuisement par voie de diffusion.

Toutes les pièces étant interchangeables, il suffit d'un seul appareil pour faire rapidement plusieurs analyses.

Bien que cet appareil présente de très grandes analogies avec ceux connus actuellement dans les laboratoires, le jury lui a néanmoins attribué une récompense en considération du soin avec lequel il est construit et des services qu'il peut rendre dans les sucreries.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE DES MATIÈRES.

Pages

Composition du jury 373
Matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie 375
Introduction 375
Produits céramiques. — Récompenses 379
Fabrication mécanique des cornues à gaz 380
Matériaux éminemment réfractaires destinés à la métallurgie 385
Foyers à dalles perforées 388
Procédés et appareils de la tannerie, de la mégisserie et de la corroirie. — Récompenses . . . 394
Procédés et appareils de la grande industrie chimique. — Récompenses 403
Procédés et appareils de la stéarinerie et de la savonnerie. — Récompenses 448
Procédés et appareils de la pharmacie. — Récompenses 469
Procédés et appareils de la verrerie. — Récompenses 474
Procédés et appareils de la fabrication du gaz. — Récompenses 480
Procédés et appareils de l'industrie du pétrole 497
Vues panoramiques 499
Géologie et géographie du pétrole 501
Exploitation des gisements 503
États-Unis 503
Caucase 518
Statistique de production 521
Matériel de transport 522
Raffinage du pétrole 528
Sous-produits du raffinage du pétrole 537
Appareils d'essais 539
Applications du pétrole 542
Industrie des huiles végétales 546
Procédés et appareils de la blanchisserie. — Récompenses 550
Instruments de laboratoire. — Récompenses 555

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE GÉNÉRALE DU VOLUME.

Pages.

Classe 50. — Matériel et procédés des usines agricoles et des industries alimentaires. — Rapports de MM. A. Girard, A. Béthouart, C. Lucas, Émile Boire, Barrier, A. Rouard, Joulie et Lombard 1

Classe 51. — Matériel des arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie. — Rapport de M. Charles Bardy..... 371

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires