



TECHNOLOGIE SUCRIÈRE

OUVRAGE DU MÊME AUTEUR

Traité complet théorique et pratique de la fabrication de l'alcool et des levures.

(1.300 pages - 450 gravures)

- TOME I. — Etude générale des composés organiques que l'on rencontre dans la fabrication de l'alcool et des levures.
Travail de la betterave et des matières premières sucrées.
Travail des matières amylacées.
Préparation du malt.
Traitements des pommes de terre, des céréales, etc.
- TOME II. — Ferments et fermentations.
Fabrication de la levure de boulangerie.
Distillation et rectification.
Raffinage des alcools.
- TOME III. — Utilisation des résidus.
Calcul et installation des appareils et des usines.
Contrôle chimique du travail.
Applications de l'alcool.
-

« Le Traité de M. DEJONGHE forme un ensemble complet de science appliquée à la distillerie. Le plan général de cet ouvrage est excellent ; il se distingue des Traités antérieurement publiés et qui répondent plus imparfaitement aux nécessités de l'industrie. On y rencontre, à la suite d'études théoriques, un guide pratique de toutes les opérations nécessitées par chacune des matières premières mises en œuvre. Il n'y a qu'à suivre ces indications pour obtenir une bonne fabrication. Les commençants ou ceux qui ne sont encore qu'incomplètement initiés ont donc un guide précieux qui condense les résultats de la théorie et de la pratique et les empêche de s'égarer. Cette partie de l'ouvrage est à la portée de tout le monde et est très pratique, et, à ce titre, est éminemment utile. » (E. DURIN, *Distillerie française et Bulletin de l'Association des Chimistes*).

« Il faut féliciter hautement M. DEJONGHE d'avoir mené à bien une besogne aussi ardue, qui représente une somme considérable d'efforts et de travail. Nous souhaitons vivement que ce livre ait le nombre de lecteurs qu'il mérite, par la conscience avec laquelle les divers chapitres sont traités. C'est un ouvrage véritablement complet, comme l'indique son titre, et il vient combler une lacune dans notre littérature scientifique. » (*Annales de la Distillerie et de la Brasserie*, par M. FERNBACH.)

« Le traité du professeur DEJONGHE est, sans contredit, le plus complet qui ait paru jusqu'ici, en ce sens qu'on y trouve étudiés d'une façon approfondie des sujets qui n'avaient été traités jusqu'alors dans les autres ouvrages que d'une manière superficielle, tels que la distillerie des betteraves, des mélasses, la fabrication de la levure pressée par les anciens et les nouveaux procédés ». G. DUREAU, *Journal des Fabricants de Sucre*).

EC-104
3106

TECHNOLOGIE

SUCRIÈRE

- I. — Fabrication du sucre de betteraves
- II. — Fabrication du sucre de cannes, Raffinage des sucres
et contrôle du travail

PAR

Gaston DEJONGHE

INGÉNIEUR CIVIL

PROFESSEUR A L'INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD

Ouvrage couronné par la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale

2^m édition, complètement refondue et considérablement augmentée

TOME PREMIER

FABRICATION DU SUCRE DE BETTERAVES

(420 Pages — 368 Gravures)

Édité par l'Auteur à Lambersart-Lille

AVIS AUX RELIEURS

Ne pas enlever les pages en couleur et rogner le moins possible
ou même pas du tout.

Critique de la Première Édition

de la

TECHNOLOGIE SUCRIÈRE

Par la clarté et la concision des descriptions aussi bien que par la façon synthétique dont les questions y sont traitées, l'ouvrage de M. Dejonghe se classe parmi les meilleurs qu'ait produits la littérature sucrière française. Un vif succès lui est assuré (G. Dureau, *Journal des fabricants de sucre*).

Cet ouvrage est remarquable par sa clarté et par le soin mis par l'auteur à n'exposer que des appareils et procédés récents. Un très grand nombre de figures, toutes inédites, ont permis de supprimer les longues descriptions tout en facilitant l'étude. M. Dejonghe n'oublie jamais d'exposer les considérations de mécanique théorique sans lesquelles il n'est guère possible de comprendre le fonctionnement d'un appareil ; c'est ainsi que nous voyons traités de façon remarquable le calcul des pompes à gaz carbonique ou à vide, la théorie des appareils de chauffage à multiple effet et le calcul de leurs dimensions, l'emploi de la vapeur en sucrerie, etc. (E. Silz, *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie*).

Cet ouvrage de 240 pages renferme un grand nombre de magnifiques gravures qui sont partout intercalées directement dans le texte et dont l'exécution parfaite mérite les plus grands éloges (Prof. Doct. Edmund O. von Lippmann, *Die Deutsche Zuckerindustrie*).

Cet ouvrage ayant été déposé conformément à la loi,
l'Auteur poursuivra devant les Tribunaux toute traduction,
reproduction ou contrefaçon, même partielle

PRÉFACE DE LA 2^{me} ÉDITION

En 1907 j'ai fait paraître un volume autographié, intitulé Cours de Technologie Sucrière, qui n'était que le résumé des leçons professées par moi à l'Institut Industriel du Nord depuis dix ans. En publiant ce petit ouvrage, je ne m'attendais pas au succès qu'il devait avoir. Non seulement il fut médaillé par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (sur le rapport de M. Lindet, que je dois remercier ici publiquement), mais l'édition fut épuisée en moins de deux ans.

Obligé par ce succès, et me rendant aux vœux d'un grand nombre de personnes, je me suis décidé à écrire, sur cette trame, travaillée depuis longtemps, un nouvel ouvrage beaucoup plus étendu, mais conçu exactement dans le même esprit.

Pour ne pas trop retarder cette publication, je l'ai divisée en 2 volumes,

Le premier comprend la Fabrication du sucre de betteraves. Le second comprend la Fabrication du sucre de cannes, le raffinage des sucres, le contrôle chimique du travail et quelques documents relatifs à ces industries.

Pour diminuer l'aridité du sujet, j'ai intercalé dans le texte un nombre de gravures qui dépasse de beaucoup tout ce qui a été fait jusqu'ici.

J'espère que cet ouvrage rendra service à la fois aux industriels et aux étudiants qui voudront bien se pénétrer des principes qui y sont exposés.

Lambersart-Lille, le 14 Juillet 1910

TECHNOLOGIE SUCRIÈRE

TOME I

Fabrication du Sucre de Betteraves

Principaux ouvrages consultés par l'Auteur :

Die Zucker-Fabrikation, par le Dr H. Claassen, 3^e édition, 1908, chez Schallehn et Wollbrück, Magdebourg et Vienne.

Ausführliches Handbuch der Zuckerfabrikation, par le Dr Rümpler, 1906, chez Vieweg, à Brunswick.

Cane Sugar and its manufacture, par H. C. Prinsen Geerligs, 1909, chez Norman Rodger, à Altrincham.

De Fabrikatie van suiker uit Suikerriet, par H. C. Prinsen Geerligs, 1907, chez De Bussy, à Amsterdam.

Sugar and the Sugar cane, par Noël Deerr, 1905, chez Norman-Rodger, à Altrincham (Manchester).

Ouvrages recommandés par l'Auteur : *Manuel de la fabrication du sucre de betterave* à l'usage des praticiens par E. Vrancken et A. Aulard, 1909, Société de sucrerie de Belgique, Bruxelles.

L'analyse chimique en sucreries et raffineries de cannes et de betteraves, par Ch. Fribourg, 1907, chez Dunod et Pinat, Paris.

Vade-mecum de sucrerie, par L. Pellet et P. Matillon, aux bureaux de la Sucrerie Indigène, 1907.

Traité d'analyse chimique de Post et Neumann, traduit de l'allemand, par M. Pellet et G. Chenu, chez Herman, Paris.

A mon excellentissime collègue et
ami M. A. Obeynès.
Hommage de reconnaissance

M. G. Dejonghe
Cours

de

EC-104-3106

Technologie Sucrière

PROFESSÉ PAR M. G. DEJONGHE

Fabrication du sucre de betterave et du
sucre de canne. — Raffinage du sucre.

LIVRE PREMIER

Fabrication du sucre de betterave (Rübenzucker-fabrikation;
Beet sugar manufacture).

CHAPITRE I

Historique de la fabrication du sucre

Ce que l'on appelle vulgairement sucre est le produit connu en chimie sous le nom de *saccharose*. Le sucre était jadis extrait uniquement de la canne à sucre. Cette canne est originaire des Indes ; c'était primitivement une plante alimentaire, et aujourd'hui encore, rien que dans les Indes Orientales, plus d'un million d'êtres humains ont pour principale nourriture les différents mets qu'ils préparent avec la canne à sucre.

Comme le jus de la canne fermente très facilement, on en faisait aussi des boissons alcooliques que l'on buvait pures ou coupées d'eau.

L'art d'en retirer du sucre ne fut connu qu'assez tard, et il fut certainement découvert dans les Indes mêmes, car le nom de sucre est le même dans presque toutes les langues et doit dériver du sanscrit çarkara (prâcrit sakkara) qui signifiait d'abord petite pierre et plus tard désigna le sucre.

La canne fut introduite en Chine vers 250 ans avant J.-C. (1) et dans les îles de la Sonde (Java, Sumatra, etc.) au début de notre ère. De l'Inde elle passa, à la fin du 5^e siècle, dans la Perse.

La fabrication du sucre de canne reçut une importante impulsion des Arabes ; à chaque pas qu'ils faisaient dans leurs conquêtes, ils prenaient la canne à sucre avec eux et dans chaque pays qu'ils occupèrent ils donnèrent à la fabrication du sucre une grande prospérité. Après la conquête de l'Égypte (640), la canne y fut également introduite et, grâce aux profondes connaissances des Égyptiens en chimie, la fabrication reçut d'importants perfectionnements. Ils connaissaient depuis des siècles les manipulations et les appareils de filtration, distillation, cristallisation, etc. Ils savaient clarifier les jus des plantes par addition d'albumine, ébullition et filtration ou par traitement à l'alun ; précipiter l'albumine par le tannin et se servir des aréomètres. Comme ils connaissaient le « travail alcalin », leur sucre supportait le transport par eau et il fut pendant des siècles une marchandise très recherchée. Les Égyptiens sont les véritables inventeurs et les fondateurs du raffinage. Même les Chinois, si fiers de leur antique civilisation, ne savaient préparer qu'une pâte avec le jus de canne séché au soleil ; ils n'apprirent la fabrication du sucre que vers l'an 650 et le raffinage qu'au 13^e siècle par les conquérants Mongols.

Les Arabes marchant vers l'Ouest, la canne à sucre se répandit sur toute la côte du Nord de l'Afrique et, suivant toujours l'armée victorieuse, elle arriva en Europe. La Sicile reçut également la canne par les Arabes, vers 827.

A partir de 1095, les croisades, en faisant connaître le sucre, en répandirent partout l'usage.

Les Vénitiens, qui avaient fait le commerce avec les Arabes en Espagne, en Syrie et en Égypte, et dès 996 avaient importé du sucre de la Syrie, s'occupèrent activement du trafic des sucres vers l'Europe Centrale. En l'an 1300, on fondait à Venise une raffinerie de sucre. Après la fin des croisades, une partie de l'industrie sucrière se transporta à l'île de Chypre où elle devint tellement prospère que cette île fut bientôt le point central du commerce entre l'Orient et Venise et fut, à côté de la Syrie et de l'Égypte, un des centres sucriers les plus importants du monde.

(1) La majeure partie des détails historiques qui suivent sont empruntés au savant traité « *Die Geschichte des Zuckers* » du D^r Edmund van Lippmann et à l'excellent ouvrage « *Ausführliches Handbuch der Zuckerfabrikation* » du D^r A. Rümpler.

Un changement subit intervint dans l'histoire du sucre avec la prise de Constantinople par les Turcs (1453) et la conquête qui s'en suivit de toute la côte sud de la Mer Noire et particulièrement de Trébizonde (1461). Cette conquête, en barrant les grandes voies vers l'intérieur de l'Asie, rendit extrêmement difficile le commerce entre Venise et les Indes. Ces circonstances difficiles pour Venise furent encore aggravées lorsque les Turcs s'emparèrent du Caire (1517), de l'île de Rhodes (1522) et enfin de l'île de Chypre (1571) ; car, contrairement aux Arabes, qui, partout où ils entraient en conquérants, répandaient la civilisation, les arts, les sciences et la prospérité, les Turcs arrivaient partout en dévastateurs des terres conquises et en destructeurs de toute ancienne civilisation. La canne à sucre disparut également de tous les pays cités ci-dessus ou tomba au rang d'une chose sans importance. A l'exception de l'Égypte, où la culture de la canne à sucre fut réintroduite en 1820 par Mehemet-Ali, cette culture n'a été reprise dans aucun de ces pays.

Mais, pendant ce temps, d'autres centres de production s'étaient créés à l'Ouest. En 1420, Henri le Navigateur, infant de Portugal, fit importer la canne à sucre de Chypre dans l'île de Madère récemment découverte (1351) et par suite aussi, dans les autres îles des côtes de l'Afrique : Canaries, Cap-Vert, St-Thomas et dans les Açores. Grâce au climat remarquable de Madère, des Canaries, etc., la canne acquit une prospérité extraordinaire dans ces îles et l'industrie du sucre y devint très florissante. L'importation de l'esclavage des nègres, qui, à partir de ce moment, marcha de pair avec le développement de la canne, donna la main-d'œuvre à bas prix et rendit la fabrication du sucre très lucrative, en sorte que le sucre de Madère, par son bon marché, fit une concurrence sérieuse au sucre des pays méditerranéens et approvisionna l'Europe en sucre pendant plus de 300 ans.

En 1496, Barthelemy Diaz doubla le cap de Bonne-Espérance et, en 1498, les premiers navires européens abordaient Calcutta sous la conduite de Vasco de Gama. La route des Indes était découverte et l'on pouvait transporter à bon compte les produits de ce pays qui n'étaient plus obligés de suivre la voie terrestre à travers l'Asie, où les droits de douane augmentaient considérablement leur prix ; mais en même temps, le grand marché de ces produits fut transféré à Lisbonne. Déjà, en 1515, Venise était obligée d'acheter ses provisions de sucre dans ce port.

Pendant ce temps, l'Amérique était également entrée parmi les pays producteurs de sucre. Déjà, en 1493, lors de son second voyage, Christophe Colomb avait transporté de la canne des îles Canaries à St-Domingue ; dès là, elle se répandit à Cuba, au Mexique et au Pérou. En 1553, le Mexique exportait déjà du sucre vers l'Espagne.

En 1532, la canne à sucre fut importée de Madère au Brésil, qui, depuis 1500, appartenait au Portugal. En 1600, le Brésil possédait 120 sucreries ; sa production ruina complètement celle de la Sicile et menaça celle de Madère, à tel point que le Portugal dut établir des droits d'entrée pour protéger son ancienne colonie.

En 1372, le sucre des Indes était coté à Paris 28 fr. 50 la livre ; en 1598, la livre de sucre de Madère valait encore 5 fr. 35. Les frais de transport étaient tels que les produits des Indes arrivaient encore en Angleterre avec une valeur décuplée.

En 1644, les Français implantèrent la canne dans la Guadeloupe, puis dans la Martinique, puis dans la Louisiane. Les sucres d'Amérique arrivant en Europe par Lisbonne, qui, comme il est dit plus haut, avait fait passer Venise au second rang pour l'importation du sucre des Indes, augmentèrent encore le trafic de Lisbonne. D'importantes maisons hollandaises y fondèrent des comptoirs pour importer directement leurs denrées coloniales. Venise perdit alors complètement sa prééminence. Le sucre était expédié de Lisbonne à Anvers et de là il remontait le cours du Rhin ; de nombreuses raffineries s'établirent à Anvers. Mais la guerre de l'indépendance des Pays-Bas (1566-1609) décida beaucoup de Hollandais à gagner l'étranger et la majeure partie du commerce et de l'industrie se transporta à Amsterdam, où le raffinage du sucre acquit une grande prospérité. En l'an 1580, Philippe II d'Espagne, ayant pris possession du Portugal, voulut empêcher les Hollandais, avec qui il était en guerre, de faire le commerce avec Lisbonne ; mais il ne réussit qu'à produire l'effet contraire de celui qu'il avait cherché. Les Hollandais entrèrent en relations directes avec les Indes et Java ; ils fondèrent, en 1602, la *Cie Hollandaise des Indes Occidentales*, et en peu de temps ils firent la conquête de toutes les colonies asiatiques du Portugal. Ils attaquèrent aussi le Brésil, dévastèrent les plantations de cannes, et firent la conquête du pays où ils se mirent eux-mêmes à fabriquer du sucre.

Au traité de la Haye (1661), la Hollande rendit le Brésil au Portugal ; mais beaucoup de Hollandais devenus propriétaires de plantations restèrent au Brésil. Peu de temps après, ils furent expulsés par les Portugais et se rendirent aux îles des Indes occidentales (St-Christophe, la Jamaïque, la Guadeloupe, la Martinique, etc.) où l'on cultivait déjà la canne, mais où l'on fabriquait tellement mal que le sucre des Indes occidentales ne pouvait supporter le transport en Europe. Les Hollandais établirent des plantations régulières dans ces îles et fabriquèrent du sucre exportable, en sorte qu'elles devinrent prospères.

En 1791, la révolte des esclaves de St-Domingue, qui arrêta toute prospérité et toute industrie, profita surtout au Brésil, à la Jamaïque

et à Cuba ; elle profita aussi à la Louisiane dont la production sucrière était restée en arrière par suite de son climat peu favorable, et à la côte Nord de l'Amérique du Sud (Guyane). Mais au Mexique et à Cuba, la mauvaise administration de l'Espagne avait déjà, à la fin du 16^e siècle, ruiné complètement l'industrie sucrière.

La fabrication du sucre de canne fut introduite en Extrême-Orient, principalement à Manille, vers 1750 ; et en 1800, Manille exportait déjà du sucre.

En 1605, Ollivier de Serres signalait la présence du sucre dans la betterave. Environ 140 ans plus tard, Frédéric-le-Grand, vexé de voir les négociants hollandais faire des fortunes prodigieuses par le trafic des sucres coloniaux, voulut empêcher l'exode annuel de l'argent prussien vers la Hollande, en encourageant l'industrie nationale. On essaya d'extraire le sucre de diverses plantes et fruits, notamment les raisins.

En 1747, Marggraf, pharmacien, à Berlin, démontra à son tour la présence du sucre dans la betterave et il réussit à l'en extraire : Il desséchait les racines découpées en morceaux, il épuisait par de l'alcool bouillant, filtrait et abandonnait le liquide. Il se déposait des cristaux de sucre presque pur. En 1795, Franz Karl Achard, né à Berlin, d'une famille d'origine française, élève de Marggraf, reprit les essais de son maître. En janvier 1792 il présenta le premier échantillon de sucre de betterave au roi Frédéric-Guillaume III et il fonda à *Cunern* (Silésie) près de Steinau sur l'Oder la première fabrique de sucre qui fonctionna en 1802. En 1806 Delessert monta une fabrique de sucre à Passy et il étudia sérieusement cette fabrication. L'établissement du blocus par Napoléon 1^{er} le 29 novembre 1806, en fermant nos ports aux sucres venant des colonies françaises et étrangères, fit monter considérablement le prix du sucre (de 6 à 12 fr. le kilo). On suivit alors avec intérêt les essais industriels d'Achard et on sembla se consoler de la disette du sucre de canne en pensant qu'on allait désormais consommer du sucre des betteraves (1). C'était une nouvelle pièce, un nouvel opéra, le sucre aux raves, qui allait se jouer bientôt.

Une gravure de l'époque représente Achard, tenant un pain de sucre et annonçant qu'il a réussi ; la fortune tient une couronne au-dessus de la tête du savant chimiste. La découverte d'Achard réjouissait tout le monde, excepté les colonies, représentées ici par un personnage à genoux, suppliant un gros importateur de ne pas se laisser aveugler par la fortune. Celui-ci répond que cela ne durera pas. C'était l'opinion à cette époque ; la science industrielle semblait abandonner la betterave et son sucre pour s'attacher sur les conseils de Proust et de Parmentier, à une chimère, le sucre des raisins, que l'on pensait pou-

(1) L. Lindet, *Bulletin de la Société d'Encouragement*.

voir identifier avec le saccharose, mais que l'on ne parvenait pas à faire cristalliser (L. Lindet).

La première usine sucrière française sérieuse, fut fondée par Crespel, Dellisse et Parsy, à Lille, en 1810. Elle produisit en 1810, 400 kilos de sucre et en 1811, 10.000 kilos. En janvier 1811, le ministre de l'Intérieur, M. de Montalivet, accompagné de Dayeux, présenta à Napoléon 1^{er}, deux pains de sucre. Cette présentation détermina l'empereur à encourager la fabrication du sucre indigène. Le 29 mars 1811, il signait un décret qui distribuait un million de francs aux cultivateurs de betteraves. Il y eut cette année-là 40 fabriques en activité.

Napoléon dit un jour à son premier pharmacien : « Dayeux, que pensez-vous de la culture de la betterave en grand, dans la France ? » — Sire ! qu'elle va enlever des terres à la culture du blé ». Napoléon, fâché, se retourna en murmurant : « Je ne sais pas prévoir les malheurs de si loin » et il engagea Dayeux à ne pas propager cette crainte.

La réponse de Dayeux n'était pas celle d'un timoré, mais celle d'un sage, qui avait pu assister à de terribles disettes. La création des transports, l'emploi des engrais, ont changé tout cela ; non seulement la culture de la betterave a pris 260.000 hectares à la culture du blé, mais c'est la betterave qui assure la récolte du blé (L. Lindet).

Le 2 janvier 1812, Chaptal annonça à l'empereur le succès qu'il venait d'obtenir dans l'usine de B. Delessert, à Passy, et le 15 janvier, un décret fondait cinq écoles de fabrication du sucre. Mais la chute de l'empire arrêta ce mouvement. De 1811 à 1815, la concurrence des sucres de canne arrivant par l'Angleterre, amena une crise terrible qui fit crouler la plupart des sucreries. Les quelques fabricants qui résistèrent durent leur salut à leur grande fortune personnelle et à l'emploi dans leurs usines de prisonniers espagnols qui avaient appris la fabrication du sucre de canne dans les colonies. Le nombre des sucreries ne se multiplia qu'à partir de 1818.

La production du sucre suivit la progression suivante :

1820	4.000 tonnes	
1835	40.000 —	
1856	100.000 —	
1864	200.000 —	(sur 400.000 que produit l'Europe).
1874	450.000 —	(Allemagne 256.000 ; Autriche 220.000).

A partir de 1875, l'industrie sucrière déclina rapidement en France pendant qu'elle continuait à se développer à l'étranger. L'Allemagne surtout, à partir de 1880, dépassa ses concurrents ; sa production atteignit pour la première fois, 1 million de tonnes en 1884-85.

Pendant ce temps, en France, le nombre des usines et la production baissaient comme suit :

1876	539	usines	produisant	450.000	tonnes
1884	449	—	—	300.000	—

Du 1^{er} rang, la France était tombée au 4^e, elle venait après l'Allemagne (1.000.000 t.) ; l'Autriche (650.000 t.) ; la Russie (450.000 tonnes).

Chez nous, l'impôt était perçu sur le sucre fabriqué, tandis qu'en Allemagne il était, depuis 1841, perçu sur la betterave, et en Autriche sur la capacité des appareils d'extraction (diffusion) ; dans ces deux derniers pays, le fabricant avait un très grand intérêt à travailler des betteraves fort riches en sucre, à extraire ce sucre aussi complètement que possible, et en Autriche à produire le maximum de travail à la diffusion, sans s'occuper par trop des pertes à l'extraction du jus ; car tout le sucre qu'il produisait en plus du chiffre suivant lequel il était taxé, était exempt d'impôt. Cette exception d'impôt de tous les excédents constituait une véritable prime décernée au progrès. On rechercha les variétés de betteraves les plus riches et les plus résistantes aux intempéries, et on perfectionna tout le matériel de la fabrication, de façon à travailler dans les meilleures conditions et avec le moins de pertes possible. En France, avant l'établissement de l'impôt sur la betterave (loi de 1884), on travaillait des racines à 10 o/o de sucre dont on retirait 7 o/o ; 1,5 o/o passaient dans la mélasse et 1,5 o/o étaient perdus dans les pulpes. Pendant ce temps, l'Allemagne et l'Autriche travaillaient des betteraves de 13 à 15 o/o de richesse dont elles retiraient 11 à 13 o/o de sucre.

Dans ces deux pays, les fabricants payaient la betterave d'autant plus cher qu'elle était plus riche, en sorte que le cultivateur avait tout intérêt, lui aussi, à produire de bonnes racines. En France, au contraire, on la payait simplement au poids, et comme la concurrence étrangère avilissait le cours des sucres, qu'on ne donnait pas un prix élevé à la matière première, le cultivateur plantait de préférence des betteraves à gros rendement cultural, pauvres en sucre. Enfin, le matériel était, chez nous, fort en retard.

En 1884, une nouvelle loi vint établir l'impôt sur la betterave comme en Allemagne ; le fabricant était taxé suivant un certain rendement (6 o/o et tout le sucre qu'il retirait en plus était indemne d'impôt. Cette loi était très large, elle laissait de gros bénéfices aux fabricants, mais constituait aussi une lourde charge pour le Trésor, la quantité de sucre exempt de droit devenant énorme. Pour remédier à cela et assurer le budget, on vota d'abord une surtaxe de 10 fr. sur les sucres acquittés ; au lieu de 50 fr. par 100 kilos l'impôt était porté à 60 fr. puis on augmenta successivement le taux de la prise en charge ; enfin, on vota le partage des excédents avec l'Etat.

Mais les primes décernées dans les principaux pays, amenèrent une surproduction considérable de sucre. En présence du grand développement de l'industrie sucrière en Allemagne, on a, dès 1891, abandonné dans ce pays, l'impôt sur la betterave, pour revenir à l'impôt sur le produit fabriqué.

En 1896, les Allemands établirent des primes à l'exportation.

L'Angleterre, quoique bénéficiant pour sa consommation du régime des primes, manifesta sa volonté de mettre un terme à ces primes par des taxes à l'entrée des sucres en Angleterre, en vue de venir en aide à ses colonies.

En 1898, une conférence internationale se réunit à Bruxelles. La France déclara qu'elle était prête à supprimer ses primes si celles des autres pays étaient supprimées, mais que sa législation intérieure ne devait pas être mise en cause. Les années suivantes, à l'abri de droits de douane fort élevés, des cartels allemands et autrichiens s'établirent et permirent de donner des primes à l'exportation supérieures aux avantages faits aux sucres français. A la fin de 1901, une nouvelle conférence internationale réunie à Bruxelles décida la suppression de toutes les primes ; la France s'engagea à modifier sa législation sucrière à la condition que l'on interdirait également tous les cartels. Pour rendre ceux-ci peu dangereux, le Congrès abaissa à 6 francs les droits de douane par 100 kilos. On revint donc à l'impôt sur le sucre, mais pour compenser la suppression des primes et développer la consommation, l'impôt de 60 francs par 100 kilos de sucre fut abaissé à 25 francs plus 2 francs de taxe de raffinage.

Le résultat de ce dégrèvement ne s'est pas fait attendre ; la consommation du sucre en France, qui était en moyenne de 420.000 tonnes, est arrivée au chiffre de 640.000 tonnes en 1903-1904.

Cependant, la production du sucre en France a diminué : en 1901-2, elle s'élevait à 1.050.000 tonnes, tandis qu'elle n'est plus, en moyenne, pour les campagnes 1906-7, 1907-8, que de 670.000 tonnes. Cela tient à ce que l'exportation en Angleterre est devenue difficile par suite de la concurrence des sucres allemands et autrichiens, produits à meilleur marché, et surtout aux bas prix offerts pour la betterave après la suppression des primes.

En 1907, l'Angleterre cédant aux réclamations de ses industries employant le sucre, qui, par suite de la convention, payaient le sucre plus cher que précédemment sous le régime des primes, dénonce cette convention et déclare son intention de ne plus surtaxer en douane aucun sucre même primé dans son pays de production. Elle veut attirer sur son marché les sucres russes qui sont fortement primés et qui, par suite, peuvent être vendus à bas prix.

Les autres puissances engagèrent des négociations avec la Russie

pour la faire entrer dans la convention. Une transaction intervint, aux termes de laquelle la Russie entre dans la convention tout en conservant ses primes, mais en limitant son exportation en Europe à 1 million de tonnes à répartir sur cinq campagnes, à partir de 1908, pour laquelle la convention est prorogée. La faveur faite à la Russie aura probablement une répercussion fâcheuse sur l'importation française, déjà très difficile.

CHAPITRE II

Les Sucres

Repassons rapidement la série des sucres que l'on trouve dans la nature, en partant de leur origine.

Pentosanes. — On appelle ainsi des matières qui, par hydrolise, donnent des pentoses. Ce sont des produits de condensation ou de déshydratation des pentoses. Ils se rencontrent en abondance dans la nature (arabane, xylane, matières gommeuses et pectiques).

Pentoses, C⁵ H¹⁰ O⁵. — Ce sont des sucres à 5 atomes de carbone ; ils se produisent par l'hydrolise des pentosanes. On connaît quelques aldopentoses : arabinose, xylose.

Ces sucres réduisent les liqueurs cupro-alcalines, mais ils sont infermentescibles.

Pentobioses. — On connaît le diarabinose ou arabinobiose, qui résulte de la soudure de deux molécules d'arabinose avec élimination d'une molécule d'eau $2(C^5 H^9 O^4 OH) = O \left\{ \begin{array}{l} C^5 H^9 O^4 \\ C^5 H^9 O^4 + H^2 O \end{array} \right.$

Il se produit par l'hydrolise de l'arabane. Hydrolisé à son tour, il donne 2 molécules de l'arabinose.

Hexosanes. — Les hexosanes donnent par hydrolise des hexoses. L'amidon est un hexane ou hexosane ou amyane qui donne d'abord du maltose (dextrobiose) puis du dextrose.

Hexoses C⁶ H¹² O⁶. — Ce sont des sucres à 6 atomes de carbone qui se produisent par l'hydrolise des hexosanes. Le plus répandu est le sucre aldose d glucose ou dextrose (sucre de raisin, sucre d'amidon, etc.). Il est souvent accompagné du d fructose ou levulose, qui a la même formule brute, mais qui est une cétose. Dans la canne à sucre mûre et saine, on ne rencontre pas de levulose.

Les alcalis attaquent ces sucres même en petite quantité et à froid. Il se forme de l'acide lactique, acide très stable qui n'est pas sujet à une décomposition spontanée. Si on chauffe une solution de glucose en dessous de 70° avec de la potasse ou de la soude, la réaction alcaline disparaît, il se forme de l'acide glucique et de l'acide saccharique en même temps que la liqueur se colore. Par une élévation de température, ces acides se décomposent en acides humique, acétique, formique, carbonique, en colorant fortement le liquide. C'est à cette décomposition spontanée qu'il faut attribuer ce fait qu'en sucrerie de canne, la réaction des jus, d'abord neutre, devient toujours plus acide.

A des températures inférieures à 55°, la chaux transforme également le glucose en acide lactique, mais à une température plus élevée il se forme les mêmes acides et la même coloration. Aussi dans la carbonatation des jus de canne, où l'on met le glucose en présence de beaucoup de chaux, il faut avoir soin de maintenir la température en-dessous de 55° C aussi longtemps que la chaux n'est pas saturée, afin de ne pas avoir plus tard, dans les bas produits, à souffrir de décomposition spontanée des produits de première décomposition (Prinsen Geerligts).

Soumis à l'action des levures (saccharomycètes) fig. 1 ou de la zymase alcoolique, ces sucres sont décomposés directement en alcool et acide carbonique à peu près suivant la formule $C^6 H^{12} O_6 = 2 (C^2$



Fig. 1. — Ferments alcooliques

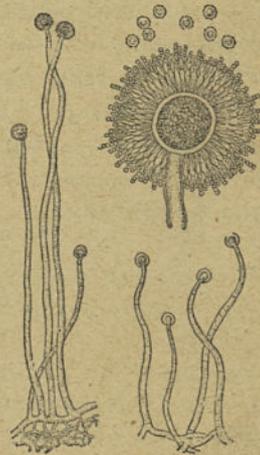


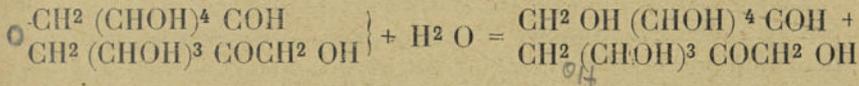
Fig. 2 - A-pe gillas
niger niger

$H^5 OH) + 2 C O_2$. Le d fructose ou levulose qui est plus sensible à la chaleur que le d glucose ou dextrose, fermente un peu plus difficilement que ce dernier sucre.

Hexobioses ou Disaccharides : $C^{12} H^{22} O^{11}$. — Ils résultent de la soudure de 2 molécules de sucres hexoses avec élimination d'une molécule d'eau. A cette classe appartiennent la saccharose (sucre de betterave ou de canne), le maltose qui se produit par l'action du malt sur l'amidon, le lactose ou sucre de lait, le melibiose, le touranose, le gentiobiose, etc...

Par l'action hydrolisante de certains ferments solubles (sucrase ou invertine, maltase, lactase, melibiase, etc.), tous ces sucres se dédoublent en 2 molécules de sucres hexoses.

Le saccharose, par l'action de la *sucrase* ou de l'eau acidulée, se dédouble en un aldohexose, qui est le d glucose ou dextrose, et un ceto-hexose qui est le d fructose ou lévulose.



Cette *sucrase* est sécrétée par un grand nombre de levures et de mucorinées, notamment par l'*aspergillus niger* qui en est grand producteur ; elle est sécrétée aussi par le *mucor racemosus* (fig. 3) ; mais c'est la seule mucorinée



Fig. 4

qui en renferme, si bien que Gayon a proposé l'emploi d'un mucor (le *M. circinelloides*) pour extraire le saccharose des mélasses de raffine-



Fig. 5. — Ferments butyriques

rie trop riches pour pouvoir être traitées par d'autres procédés. On a proposé dans le même but une levure trouvée dans les glucoses altérés.

Le saccharose est un alcool aldehyde cétone ; il renferme 8 grou-



Fig. 3. — *Mucor racemosus*

pes alcooliques (1 primaire C H² O H et 7 secondaires C H O H), un groupe aldehyde C O H et un groupe cétone C O.

L'inversion, c'est-à-dire la transformation du saccharose en dextrose et levulose doit toujours être évitée avec le plus grand soin dans la fabrication du sucre ; on y arrive en maintenant toujours alcalins, les liquides sucrés. Une solution de saccharose ou de glucose étant maintenue à une température d'environ 50-55° C, ne tarde pas à être envahie par des bactéries lactiques (fig. 4) qui transforment ces sucres en acide lactique. Si la température est inférieure à 40° C c'est généralement une fermentation butyrique (fig. 5, b) qui se déclare, transformant le sucre en acide butyrique. Ces fermentations peuvent occasionner de grandes pertes en sucre ; on les évite en maintenant les jus et sirops à une température élevée.

Le jus de betteraves et les dissolutions de mélasses deviennent parfois gras, épais et visqueux ; ce phénomène est produit par le développement d'un microbe spécial le *Leuconostoc mesenteroides* ; il se forme de la mannite C⁸H¹⁴O⁶ = CH²OH (CHOH)⁴ CH²OH, et une gomme spéciale la dextrane qui paraît identique à l'arabinose (40 à 50 p. 100) ou gomme de sucrerie.

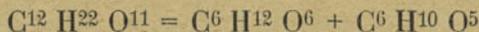
Le *Leuconostoc* peut se développer dans les jus en cours de fabrication si on n'a pas la précaution de les tenir très chauds



Fig. 6. — *Leuconostoc mesenteroides*: a, zooglée; b, coupe d'une zooglée adulte ; c à f, stades successifs depuis la spore adulte jusqu'à la reconstitution de la zooglée.

Par la chaleur, le sucre fond vers 160° en un liquide transparent qui en se refroidissant, se solidifie en une masse amorphe connue sous le nom de sucre d'orge. Ce sucre amorphe cristallise peu à peu en perdant sa transparence, les molécules reprenant leurs positions d'équilibre.

En maintenant le sucre pendant un certain temps de cette température de 160° il se dédouble en dextrose et en lévulosane.



Chauffé à 210°, le sucre perd 2 molécules d'eau et se transforme en caramel C¹² H¹⁸ O⁹.

Les alcalis n'attaquent pas le saccharose même à 100 degrés ; à une température plus élevée, le sucre se décompose en donnant des acides qui s'unissent à la base.

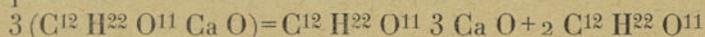
Le saccharose ne réduit pas les liqueurs alcalino-cuivriques, il les réduit après inversion.

La chaux, forme avec le saccharose, plusieurs combinaisons :

1° Le sucrate monobasique. $C^{12} H^{22} O^{11} Ca O$. Il se forme quand on fait dissoudre de la chaux dans une dissolution sucrée en maintenant le sucre en excès par rapport à cette base. En ajoutant de l'alcool au liquide, le sucrate monobasique se précipite.

2° Le sucrate bibasique. $C^{12} H^{22} O^{11} 2 Ca O$. Il se forme en ajoutant un grand excès de chaux à une solution sucrée. En ajoutant de l'alcool il se précipite en cristaux peu solubles dans l'eau, très solubles dans l'eau sucrée.

3° Le sucrate tribasique. $C^{12} H^{22} O^{11} 3 Ca O$. Il se produit quand on fait bouillir une solution limpide de sucrate monobasique de chaux : le liquide devient louche et il se dépose un précipité de sucrate tribasique



Par refroidissement de la liqueur, le sucrate tribasique se redissout dans le sucre mis en liberté en reformant du sucrate monobasique. Les sucrales sont des combinaisons peu stables, facilement décomposées par l'acide carbonique, les carbonates alcalins, l'acide sulfurique.

Sucrocarbonate. — Le carbonate de calcium se combine également avec le sucre en formant avec lui un sucro-carbonate insoluble. Ce composé se forme en gelée dans les solutions calco-sucrées limpides quand on y fait passer de l'acide carbonique. Un excès d'acide carbonique le détruit. C'est donc une combinaison éphémère.

Propriétés physiques du saccharose. — Le saccharose a pour densité 1,6. Il fond entre 160 et 161° C. Sa solubilité dans l'eau, varie beaucoup avec la température. Herzfeld a donné la formule suivante : $J = 64, 1835 + 0,13477 t + 0,0005307 t^2$ au moyen de laquelle il a dressé une table. Il est soluble dans environ la moitié de son poids d'eau froide. Il est insoluble dans l'alcool absolu et l'éther. Il est dextrogyre : pour une concentration de 0 à 18 et une température de 20° C, on peut admettre comme pouvoir rotatoire (α) $D = 66,5$. Une solution marquant 100 au polarimètre avant inversion, marque — 32,66 après inversion.

La chaleur spécifique du sucre cristallisé est de 0,3192 ; celle du sucre non cristallisé est de 0,56 et celle d'une dissolution de 1,33 de densité est de 0,6255.

Les points d'ébullition des solutions sucrées ont été déterminés par le regretté Gustave Flourens, directeur du laboratoire de l'Institut Industriel de Lille.

Points d'ébullition des solutions sucrées pures

TABLE DE FLOURENS (*Nous y ajoutons les chaleurs spécifiques*)

Teneur en sucre pour 100 gr. de solution	POINT d'ébullition	CHALEUR spécifique	Teneur en sucre pour 100 gr. de solution	POINT d'ébullition	CHALEUR spécifique	Teneur en sucre pour 100 gr. de solution	POINT d'ébullition	CHALEUR spécifique
10	100,1	0,94	50	110,9	0,72	80	110,4	
20	100,3	0,89	60	103,1	0,67	85	114,9	
30	100,6	0,83	70	105,3	0,62	90	122,6	
40	101,1	0,77	75	107,4		92	127,9	

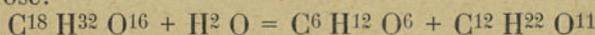
M. G. Fouquet a donné la formule suivante pour le calcul des points d'ébullition des solutions sucrées pures : $T = 100 + K \frac{P}{E}$, P = poids de sucre, E = poids d'eau, K = 2,33.

Pour les solutions sucrées impures, on peut adopter la formule de Fouquet :

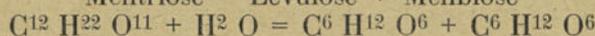
$$T = 100 + \frac{B}{E} \times \frac{K P + K' (100 - P)}{100}$$

B : Brix de la solution; E eau; P pureté; K = 2,33 ; K' = 4,60, calculée d'après les études de Claassen.

Hexotrioses. C¹⁸ H³² O¹⁶. Ils résultent de la soudure de trois molécules de sucre hexose avec élimination d'une molécule d'eau. Le plus intéressant pour nous est le *raffinose* ou *mélitriose*. Soumis à l'action de la sucrase ou de l'eau bouillante acidulée, il s'hydrolyse en donnant du d fructose (levulose) et un hexobiose, le mélibiose (voir plus haut) qui à son tour donne du dextrose et du galactose. L'émulsine ou synaptase (ferment soluble des amandes amères) produit également cette inversion, même en milieu fortement alcalin, tandis qu'elle est absolument sans action sur le saccharose, ce qui permet de déceler ce sucre hexotriose en présence d'une grande quantité de saccharose.



Mélitriose = Levulose + Mélibiose



Mélibiose = Dextrose + Galactose

Le mélecitose et le gentianose donnent des produits analogues.

En négligeant l'eau d'hydrolise on peut écrire :

Melitriose = levulose + melibiose = levulose + dextrose + galactose.

Mélecitose = dextrose + touranose = dextrose + dextrose + dextrose.

Gentianose = levulose + gentiobiose = levulose + dextrose + dextrose.

L'invertine agissant sur le gentianose sépare du levulose et du gentiobiose ; ce dernier traité par l'émulsine se dédouble en deux molécules de dextrose.

Les levures basses qui secrètent de la mélibiose font fermenter entièrement le mélitriose, tandis que les levures hautes n'en font fermenter qu'un tiers (le levulose). Herzfeld a proposé d'utiliser cette propriété pour déceler la présence de la levure basse dans la levure haute par la quantité d'acide carbonique que donnent dix centimètres cubes de solution de raffinose avec un gramme de levure dans l'appareil de Horn (fig. 7).



Fig. 7.

Le pouvoir rotatoire du raffinose est indépendant de la concentration et de la température ; il est de $(\alpha) D = 104,6$.

Après inversion il tombe à $+ 53,6$.

Une solution qui marque 100 au polarimètre avant inversion marque donc $53,6 \times \frac{6100}{104} = 51,24$ après inversion.

CHAPITRE III

Dosage des Sucres

Détermination de la richesse en sucre par la densité

On détermine généralement la densité des solutions sucrées au moyen du densimètre, espèce de flotteur surmonté d'une tige graduée (fig. 8). Actuellement, en France, l'emploi du densimètre officiel est obligatoire pour les transactions commerciales.

La graduation du densimètre indique le poids spécifique absolu des liquides à la température de $15^{\circ} C$. Dans l'eau pure à $15^{\circ} C$., le densimètre officiel doit marquer 999,16, qui est le poids absolu de l'eau (dans le vide) à cette température. Pour correspondre avec le poids dans l'air, il devrait marquer 998,08.

Il est réglé à la température de 15° C. dans l'eau distillée tenant en dissolution une quantité de sel marin (Na Cl) exactement suffisante pour lui donner la densité de l'eau à $+ 4^{\circ}$ C. Cet artifice a été inventé pour tenir compte de la dilatation que subit le verre entre 4° à 15° .

Degré Balling ou Brix. — Degré Vivien. — On appelle degré Balling ou Brix, la proportion de sucre en poids dans une solution sucrée. On peut déduire ce chiffre de la densité au moyen des tables allemandes de Scheibler, ou des tables françaises de François Dupont (Scheibler-poids : Brix-Dupont). Pour avoir le sucre en volume, on peut prendre la table de Scheibler ou celle de Vivien (Scheibler-volume ; degré Vivien). Mais comme la table de Scheibler, donne des densités des solutions sucrées à 15° C, le poids de l'eau étant 1000, tandis que le poids d'un litre d'eau à 15° C est en réalité 999,16, il faut multiplier les chiffres exprimant les densités par 999,16 pour avoir les poids spécifiques absolus à 15° C.



Fig. 8.

On trouve dans le commerce des aéromètres donnant directement le sucre en poids et le sucre en volume ; ce sont les saccharomètres Brix et les saccharomètres Vivien.

Polarimètre et Polarimétrie. — La détermination de la richesse saccharine se fait ordinairement au moyen du polarimètre, appareil d'optique utilisant la lumière polarisée.

Lumière polarisée. — On sait que, d'après l'hypothèse de Fresnel, la lumière est produite par les vibrations d'un fluide existant partout et qu'on appelle l'éther. Quand la lumière se propage dans la direction B C (fig. 9) tous les points de la direction de propagation B C entrent en vibration. Les vibrations sont transversales, elles s'effectuent dans le plan d'onde perpendiculaire à la direction B C de la propagation ; chaque plan d'onde se déplace parallèlement à lui-même avec la

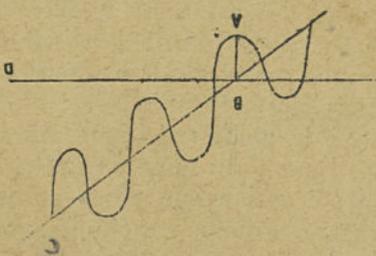


Fig. 9. — Propagation de la lumière

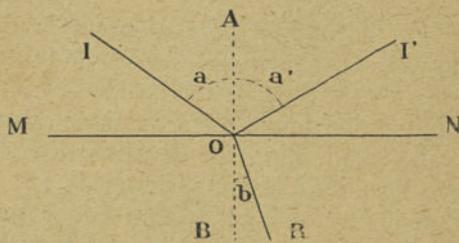


Fig. 10. — Pol. par réflexion

vitesse de la lumière. Dans un rayon de lumière naturelle, les vibrations ont lieu successivement dans n'importe quelle direction, contenue dans le plan d'onde. Dans un rayon de lumière polarisée, les vibrations s'effectuent dans une direction unique située dans le plan d'onde. Le plan qui passe par B C et qui est perpendiculaire à cette direction A B est le plan de polarisation. Un rayon de lumière I O (fig. 10) tombant sur une lame de verre M N, se décompose en deux rayons ; l'un le rayon réfléchi O I' fait avec la normale A B un angle à égal à l'angle d'incidence a ; l'autre le rayon réfracté qui a traversé le verre s'est rapproché de la normale A B et fait avec A B un angle b plus petit que a. Le rapport $\frac{\sinus a}{\sinus b}$ est constant pour deux mêmes milieux et s'appelle l'indice de refraction du deuxième milieu relativement au premier. Cette propriété a reçu une application intéressante dans le réfractomètre, appareil introduit récemment en sucrerie et raffinerie et dont nous parlerons plus tard.

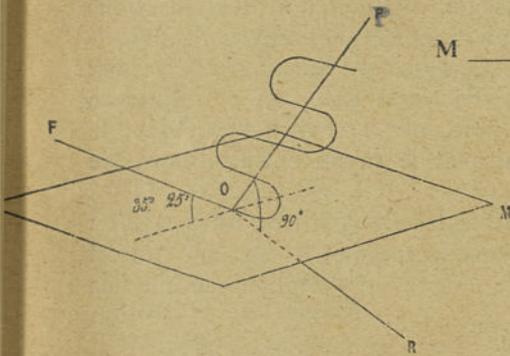


Fig. 11. Pol. par réflexion

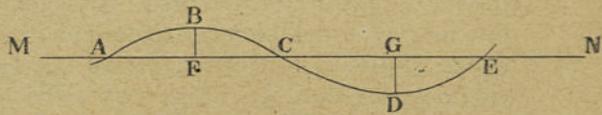


Fig. 12. Propagation de la lumière

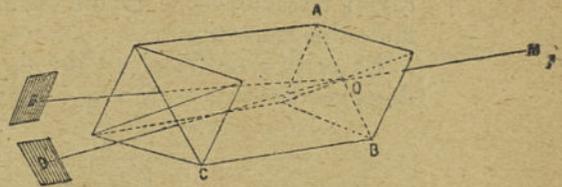


Fig. 13. Pol. par réfraction

Si l'on reçoit un rayon de lumière F O (fig. 11) sur une lame de verre M sous un angle d'incidence de $35^{\circ},25'$, il se partage en deux. Le rayon réfléchi O P est polarisé dans le plan F O P, c'est-à-dire que ses vibrations se font perpendiculairement à ce plan ; le rayon réfracté O R, faisant avec le rayon O P un angle de 90° , est également polarisé, mais dans un plan perpendiculaire au plan de polarisation du rayon réfléchi O P, c'est-à-dire encore que ses vibrations se font dans le plan P O R. On peut comparer la propagation de la lumière à celle des ondes produites par le vent à la surface de l'eau ou d'un champ de blé. La surface M N (fig. 12) constitue le plan de polarisation auquel les vibrations F B, G D sont perpendiculaires. La distance A E est une longueur d'onde, A C une demi-longueur d'onde, F B une élévation maxima.

On obtient également des rayons polarisés en faisant passer un rayon de lumière dans un cristal de spath d'Islande (Ca CO_3).

Le rhomboèdre de spath peut être considéré comme obtenu en partant d'un prisme à base carrée dans lequel on aurait raccourci la longueur de la diagonale $A B C$ en pressant sur les sommets opposés A et C , de façon à ouvrir à $101^\circ,54$ les angles de 90° en A et C . L'axe cristallographique du rhomboèdre est la droite qui joint les sommets opposés $A C$ (fig. 13).

Le plan passant par les petites diagonales $A B$ est le plan de la section principale. En faisant arriver sur ce cristal un rayon $M O$ suivant son axe de figure, il se divise en deux rayons, tous deux situés dans la section principale $A B C$. Le rayon ordinaire O est polarisé dans le plan de la section principale, c'est-à-dire que ses vibrations se font perpendiculairement à ce plan ; le rayon extraordinaire (E) est polarisé dans un plan perpendiculaire à la section principale, c'est-à-dire que ses vibrations se font parallèlement à ce plan.

En somme les vibrations de la lumière naturelle peuvent être composées de façon à former deux faisceaux distincts dont les vibrations ont lieu dans des plans perpendiculaires. Le phénomène de polarisation réalise la séparation de ces faisceaux et chacun des faisceaux élémentaires dont les vibrations s'effectuent dans un plan unique constituent un faisceau polarisé ; tels sont le rayon réfléchi et le rayon réfracté — le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire de la double réfraction.

Le prisme de Nicol est un rhomboèdre de spath qu'on a scié en deux suivant une section qui passe par le sommet A (fig. 14) qui est perpendiculaire à la fois

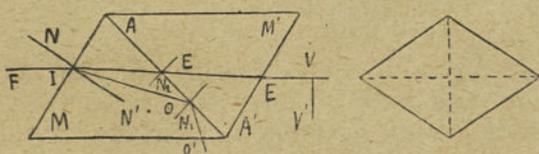


Fig. 14 Prisme de Nicol

au plan de la section principale $A M A' M'$ et à la face d'entrée F . La longueur commune aux arêtes parallèles est choisie telle que cette section aboutit au sommet

A' apposé à A . Les deux moitiés sont recollées au moyen de baume de Canada. En faisant tomber sur l'une des faces de ce cristal un faisceaux de lumière $F I$ dirigé suivant l'axe de la figure, chaque rayon se partage en deux autres, polarisés tous deux dans des plans perpendiculaires. Le rayon ordinaire $I O$ se rapproche plus de la normale NN' à la face d'entrée que le rayon extraordinaire $I E$, il rencontre le plan de coupe sous un angle d'incidence $I O N$, supérieur à l'angle limite et se réfléchit totalement. Au contraire, le rayon extraordinaire $F I E$ rencontre le plan de la coupure sous un angle inférieur à l'angle limite ; il pénètre dans la seconde moitié du cristal et émerge seul du Nicol.

Il ne sort donc que le rayon extraordinaire dont le plan de polarisation est perpendiculaire au plan de la section principale, c'est-à-dire dont les vibrations sont parallèles à ce plan.

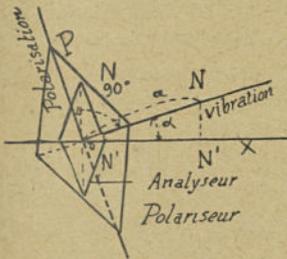


Fig. 15.

Soit un rayon lumineux perpendiculaire au plan de la figure qu'il coupe au point O (fig. 15). Le plan de la figure est le plan de l'onde. La lumière qui émerge d'un premier Nicol est polarisée dans le plan OP; elle vibre suivant la direction ON parallèle à la petite diagonale de la face de sortie du Nicol; la longueur ON représente l'amplitude de la vitesse vibratoire. Cette lumière tombe ensuite sur le second Nicol, qui ne laisse passer que les vibrations du plan

d'onde dirigées suivant la droite OX parallèle à la petite diagonale de sa face de sortie. Cette direction fait un angle α avec la direction ON. Il ne passe dans le second Nicol que la composante ON' de cette vibration suivant OX. L'amplitude de cette composante est représentée par $ON' = ON \cos. \alpha = A \cos. \alpha$

On démontre en physique que l'intensité de la lumière est proportionnelle au carré de l'amplitude. Donc, si l'intensité de la lumière qui émerge du premier Nicol est représentée par $I = a^2$, l'intensité de la lumière qui émerge du second Nicol est représentée par $I' = a^2 \cos^2 \alpha$. Si $\alpha = 0$, les deux Nicols ont leurs sections principales parallèles, on dit que les deux Nicols sont *parallèles*; alors l'intensité $I = I'$; toute la lumière qui émerge du premier Nicol traverse le second.

Si α augmente, $\cos^2 \alpha$ diminue, I' devient plus petite que I .

Si $\alpha = 45^\circ$, $\cos^2 \alpha = \frac{1}{2}$, $I' = I/2$, l'intensité de la lumière qui émerge du 2^e Nicol est la moitié de celle qui émerge du premier Nicol.

Si $\alpha = 90^\circ$, $\cos^2 \alpha = 0$. L'intensité de la lumière qui émerge du deuxième Nicol est nulle. Cela a lieu lorsque les deux sections principales des deux Nicols sont perpendiculaires l'une à l'autre. On dit, dans ce cas, que les deux Nicols sont *croisés*.

Prisme ou Nicol de Glan. — Les parties inclinées du Nicol sont découpées de façon à former un prisme rectangulaire.

Polarisation rotatoire

On appelle ainsi la propriété qu'ont certaines substances de faire dévier le plan de polarisation de la lumière polarisée qui les traverse.

Cette déviation varie à la fois suivant la nature de la substance et suivant l'espèce de lumière polarisée. Si un faisceau lumineux composé de radiations différentes traverse une même substance active, chaque radiation est déviée d'un angle différent; c'est ce qu'on appelle la *dispersion rotatoire*.

La propriété que possèdent les sucres de faire tourner le plan de la lumière polarisée est utilisée pour doser ces substances. Un fait très intéressant, c'est que la dispersion rotatoire du sucre est sensiblement la même que celle du quartz. C'est sur cette propriété que repose la construction des compensateurs, dans lesquels on compense la rotation du sucre par la rotation contraire des lames prismatiques de quartz du compensateur.

Polarimètres et Saccharimètres.

Les polarimètres servent à mesurer la rotation produite sur la lumière polarisée par une substance douée de pouvoir rotatoire ; les saccharimètres portent une graduation spéciale pour le dosage du saccharose.

Polarimètre Mitscherlich. — Le Nicol analyseur N' ayant sa section principale perpendiculaire à la section principale du Nicol polariseur N P, éteint la lumière qui a traversé N P. Si on interpose un tube contenant une substance douée de pouvoir rotatoire, le plan de polarisation est dévié, et il faut tourner l'analyseur N' d'un angle égal à la déviation. Mais l'extinction est un critérium qui manque de précision



F. G. 16.

Il vaut mieux comparer deux ou plusieurs plages lumineuses A et B, fig. 16.

Polarimètre Duboscq. — On coupe le Nicol polariseur par deux plans formant un angle $2\alpha = 5^\circ$ et on recolle les deux moitiés. On a deux sections principales C A¹ et C A² symétriques et, par suite, deux plans formant un angle $2\alpha = 5^\circ$ et on recolle les deux moitiés (fig. 17).

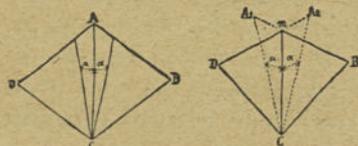


FIG. 17. — Prisme Jellet-Cornu

On ne peut faire varier l'angle 2α .

Polarimètre Laurent. — A la sortie du polariseur, le faisceau lumineux traverse un diaphragme Λ recouvert sur une moitié par une plaque de quartz qui établit une différence de marche d'une demi-longueur d'onde (fig. 18).

Représentons les *organes* tels qu'ils sont *vus*, lorsqu'on regarde suivant la direction de la propagation de la lumière. La section principale C A du Nicol N P fait un petit angle α avec le plan horizontal.

On peut considérer pour les différents *rayons* du *faisceau* de lumière qui émerge du Nicol polariseur P, les *vibrations* comme rectilignes et parallèles à la direction C A de la petite diagonale de la face de sortie A B C D du Nicol (cette direction C A est parallèle à la section principale du Nicol).

La lumière sortant du Nicol polariseur N P arrive sur l'ouverture du diaphragme Λ . La direction E F de la vibration de la lumière,

qui traverse la moitié de l'ouverture du diaphragme non couvert par la lame demi-onde n'est pas modifiée ; elle reste parallèle à la direction C A de la section principale du Nicol polariseur N P. Quant à la portion de lumière qui traverse la lame demi-onde, nous pouvons décomposer une vibration E F en deux composantes E f et E f'. Avant l'entrée, les deux composantes sont concordantes, c'est-à-dire que leurs deux élongations s'annulent en même temps et prennent en même temps leurs valeurs maxima E f et G f'.

Dans la traversée du cristal, la vibration suivant $x x'$ prend sur la vibration suivant l'axe $y y'$ une avance d'une demi-longueur d'onde. A la sortie, la vibration suivant $y y'$ partant de l'origine pour aller dans le sens $o y'$, celle suivant $x x'$ part en même temps de l'origine pour

aller non plus vers $o x'$ mais vers $o x$. Cette composante atteint son élongation maxima Et en même temps que la vibration suivant $y y'$ atteint son élongation maxi-

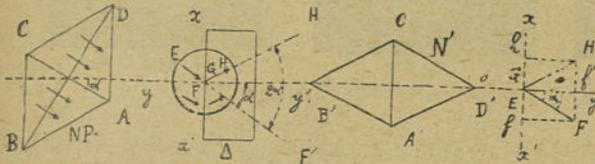


FIG. 18. — Schema du polarimètre Laurent

ma G F. La résultante de ces deux vibrations E h et G f' est la vibration G H symétrique de la vibration incidente E F par rapport à l'axe du cristal.

Si α est l'angle ($3^{\circ}4'$) que fait la direction de la vibration incidente E F avec la direction $y y'$ de la normale à la direction $x x'$ de l'axe de la lame demi-onde, les deux directions E F et G H des vibrations qui émergent, l'une de la partie vide du diaphragme, l'autre de la partie couverte par la lame demi-onde, font entre elles l'angle H G F égal à 2α . La direction de la bissectrice de l'angle aigu de ces deux vibrations E F et G H est la normale $y y'$ à l'axe du cristal. La lame demi-onde restant fixe, cette direction ne change pas, bien que l'on fasse varier l'angle α , autrement dit que l'on fasse varier l'orientation du polariseur, c'est-à-dire l'orientation de la vibration incidente.

Si l'on interpose une substance douée d'un pouvoir rotatoire, les vibrations E F et G F qui émergent de l'une et de l'autre moitié du diaphragme, tournent de la même quantité. Pour réaliser la même quantité d'éclairement des deux moitiés du diaphragme, il faut amener la section principale du Nicol analyseur à être perpendiculaire à la bissectrice de l'angle aigu des deux nouvelles vibrations. L'angle dont il faut tourner le Nicol analyseur mesure la rotation de la vibration polarisée.

Quand la section principale $o a$ de l'analyseur est perpendiculaire à $o l$, il y a extinction complète à gauche (I. fig. 19) ; quand elle est perpendiculaire à $o r$ il y a extinction totale à droite (3) ; enfin quand $o a$ est perpendiculaire à la bissectrice de l'angle $E = 2 \alpha$, il y a égalité de teinte entre les deux plages (2).

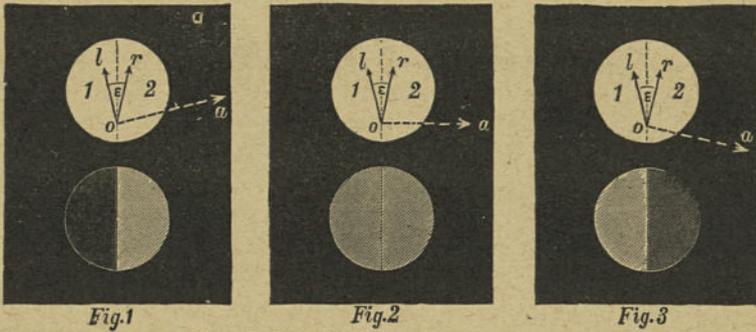


Fig. 19. Positions diverses de l'analyseur

L'orientation fournissant l'égalité d'éclaircissement s'obtient avec d'autant plus de certitude que l'angle 2α est plus petit, puisqu'une rotation de l'analyseur égale à 2α suffit pour rendre tout à fait obscures successivement l'une puis l'autre moitié du diaphragme en passant par l'égalité d'éclaircissement. Mais si l'angle 2α était trop faible, il ne passerait plus assez de lumière pour fixer cette direction avec *précision*. Si la solution est colorée, il faut augmenter l'angle α ; la *sensibilité* de l'appareil diminue un peu, mais, comme on voit mieux, on augmente la *précision* de l'observation. Le diaphragme avec la lame demi-onde est un *polariscope* à angle variable.

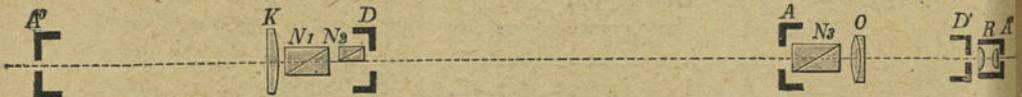


Fig. 20. Polarimètre Lippich à 2 plages (Schmidt et Hansch, Berlin)

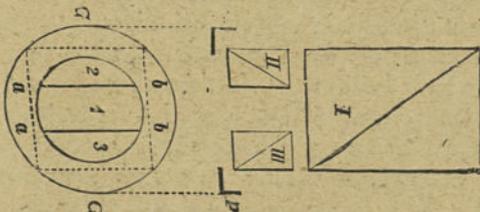


Fig. 21. Pol. Lippich à 3 plages

Polarimètre Lippich. — Le polariseur est un Prisme Nicol de Glan fixe N^1 occupant tout le champ. En avant de ce polariseur se place le polariscope, petit prisme de Glan N^2 n'occupant que la moitié du champ et pouvant tourner

légèrement autour de son axe, de sorte que les section de N^1 et de N^2

forment un angle plus ou moins grand produisant la pénombre (fig. 20).

En remplaçant le petit Nicol de Glan par deux petits Nicols de Glan couvrant chacun un tiers environ du prisme et laissant un vide dans le milieu, Lippich a produit un polariscope et, par suite, un polarimètre à trois plages (fig. 21).



FIG. 32.



PH. PELLIN, PARIS

FIG 23. — Pol Dubosc et Pellin. Plage, annulaire.

Polarimètre Laurent et Jobin. — Jobin a réalisé le champ à trois plages en plaçant au milieu du champ la lame demi-onde du polariscent (fig. 22).

Polarimètre Dubosc et Pellin. — Dans le polariscope Pellin, la lame demi-onde occupe tout le champ et est découpée en anneau, ou en forme de disque. Il faut dans ce cas remplacer la lunette de Galilée par une petite lunette astronomique dont l'axe optique est mieux défini que celui de la lunette de Galilée et qui donne un anneau oculaire (petite image de l'objectif). Les plages sont annulaires (fig. 23).

Eclairage des polarimètres

L'éclairage se fait généralement par une lumière monochromatique donnée par une flamme dans laquelle on met du chlorure de sodium (fig. 24). Quand on veut employer la lumière ordinaire ou blanche au lieu de faire tourner l'analyseur pour produire l'égalité des plages lumineuses, on le laisse fixe et on place en avant de l'analyseur, le compensateur Soleil, composé de deux coins de quartz gauche perpendiculaires à l'axe et accolés suivant leurs faces hypothénuses et qui peuvent glisser l'une sur l'autre, de manière à don-

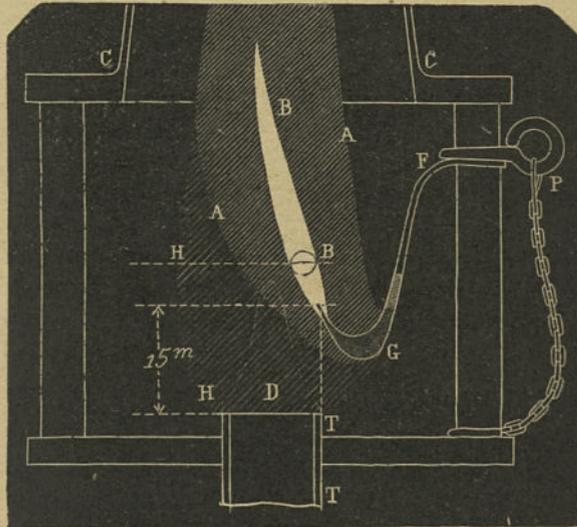


FIG. 24. — Bruleur Laurent

ner une lame d'épaisseur variable. En les plaçant derrière une lame de quartz droit, la rotation résultante est celle que produirait une lame d'épaisseur égale à leur différence.

Graduation et prise d'essai. — Dans les saccharimètres français, on marque 100 à la déviation produite par une lame de quartz de 1 millimètre d'épaisseur, taillée perpendiculairement à l'axe.

Soit α l'angle de polarisation pour un décimètre de liquide ou un millimètre de solide (cristal).

l la longueur du tube rempli de liquide,

v le volume de la solution contenant un poids p de la substance,

c la concentration = p/v ,

(α) D le pouvoir rotatoire spécifique de la substance.

$$(\alpha) D = \frac{\alpha}{l \times c} = \frac{\alpha}{l \times \frac{p}{v}} = \frac{\alpha \cdot v}{l \cdot p}$$

La déviation produite par une lame de quartz de 1 m/m d'épaisseur, est de $21^{\circ}40'$ ou $21^{\circ}67'$ et le pouvoir rotatoire du sucre de canne est de (α) $D = 66,5$. Le poids de sucre qu'il faut dissoudre dans un volume de 100 cm. pour produire la même déviation qu'une lame de quartz de 1 m/m en observant le liquide dans un tube de 20 cm. ou 2 décimètres est donné par la formule :

$$P = \frac{\alpha \cdot v}{(\alpha) D \times l} = \frac{21,67 \times 100}{66,5 \times 2} = 16 \text{ g } 29$$

En Allemagne, le point 100 des polarimètres correspond à la rotation produite, dans un tube de 2 décimètres de longueur, par une solution sucrée pure ayant, à $17^{\circ}5'$, la densité de 1100, l'eau distillée à la même température étant prise pour unité. Cette solution contient 26 g 048 de sucre pur par 100 cc jaugeage Mohr, c'est-à-dire pesée faite dans l'air avec des poids en laiton.

Pour se mettre d'accord avec le système métrique on a adopté une prise d'essai de 26 gr. en faisant l'observation à une température de 20°C .

Emploi des polarimètres. — Les polarimètres doivent être placés dans une chambre obscure, peinte en noir à l'intérieur (chambre noire). La lumière monochromatique jaune est obtenue par un bec de gaz ou une lampe éolipyle dans la flamme desquels on place des nacelles avec du chlorure de sodium. La lumière blanche peut être produite par une lampe à pétrole, un bec de gaz ou une lampe électrique à incandescence. La figure ci-contre représente l'installation d'un polarimètre à lumière blanche ; la lampe électrique qui l'éclaire

est isolée par une hotte portant une lentille de verre plan convexe. Le polarimètre est relié à la lentille d'éclairage par un tube en carton (étui de densimètre) pour éviter la dissipation de la lumière. Du côté de l'observateur, un écran en carton de 250 m/m de diamètre, arrête les rayons lumineux venant directement de la lampe (fig. 26).

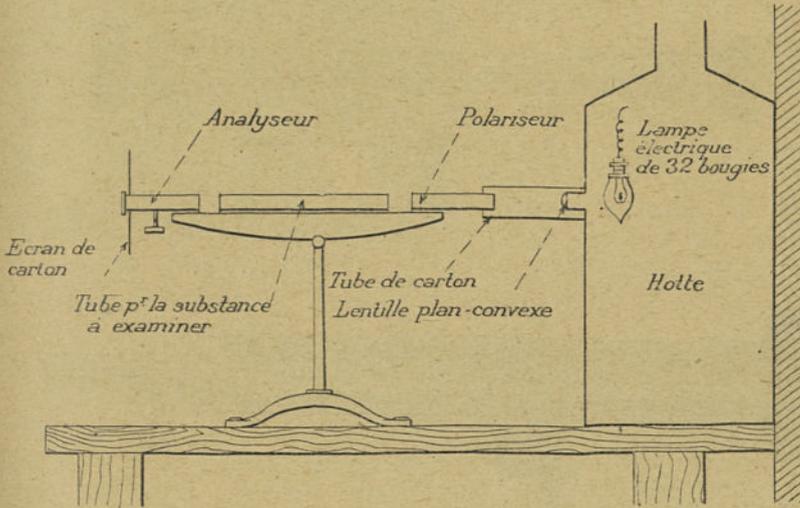


FIG. 26. — Installation du polarimètre,

Tube continu Pellet. — Quand on a une série d'observations à faire au saccharimètre, on peut employer le tube continu de Pellet (fig. 27).

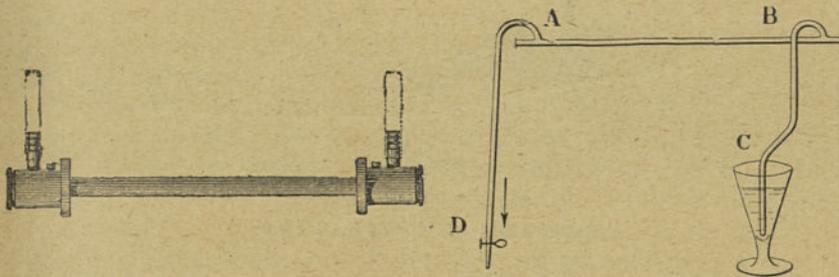


FIG. 26. — Tube continu Pellet (construction Gallois, Paris).

C'est un tube ordinaire portant à ses deux extrémités une tubulure. Chaque tubulure porte un petit tube en verre, continué par un tube en caoutchouc, l'un qui plonge dans le verre C contenant la solution à polariser et l'autre qui porte une pince de Mohr. L'appareil étant plein d'eau, on ferme la pince et le siphon est amorcé. Pour faire une opération, on aspire le liquide en ouvrant la pince D et on l'examine aussitôt que toutes les stries ont disparu à l'intérieur du tube.

Tube à bulle de Schmidt et Haensch. — Ce tube (fig. 28) est fermé comme les tubes primitifs par des bonnettes à vis ; mais pour éviter toute compression du liquide, ce tube présente à chaque extrémité un renflement dans lesquels peuvent se loger une bulle de gaz sans que le résultat de l'opération soit modifié.



FIG- 28. — Tube Schmidt et Haensch.

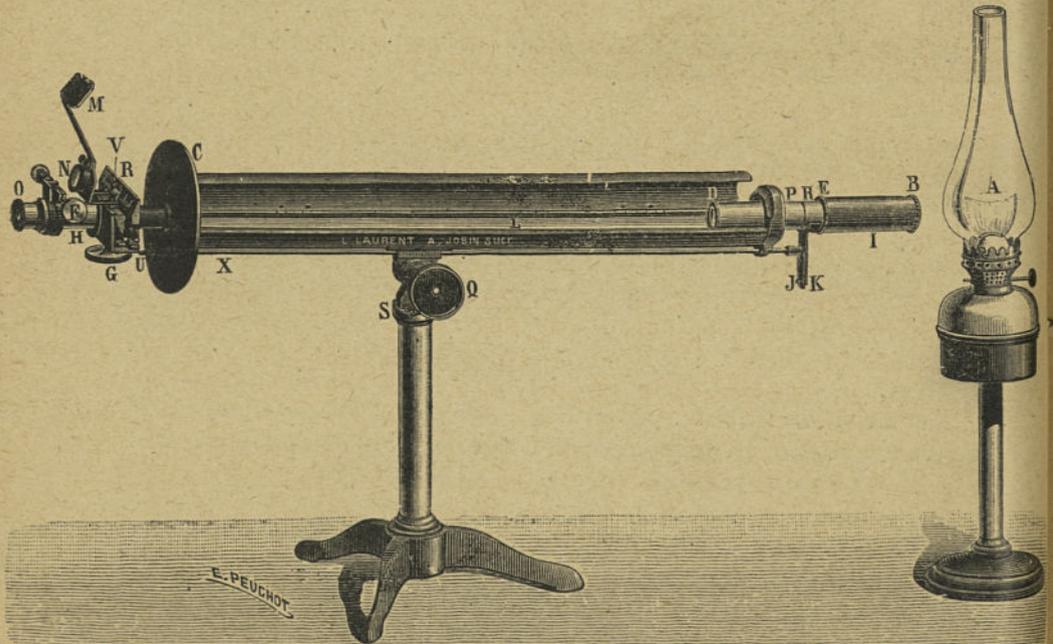


FIG. 29. — Polarimètre Laurent.

LÉGENDE EXPLICATIVE

- | | |
|--|--|
| <p>A Lampe à pétrole, bec de gaz, etc., leur milieu est placé à 20 cm. de B</p> <p>B Lentille éclairante.</p> <p>E Barillet à diaphragme portant la monture d'un cristal de <i>bichromate de potassium</i>.</p> <p>R Tube chaussé dans P et portant le levier K, il contient le système polariseur : prisme et lentille.</p> <p>D Diaphragme à plaque de quartz demi-onde formant les pénombres</p> <p>U Levier fixé sur la tige X, fait tourner le polariseur par l'intermédiaire des bras J et K, afin de donner plus ou moins de lumière.</p> | <p>L Règle en bronze en forme de V de 60 cm. de longueur, calibrée pour recevoir les tubes d'observation.</p> <p>G Bouton de manœuvre du compensateur.</p> <p>M Miroir renvoyant la lumière sur les divisions.</p> <p>N Loupe pour la lecture des divisions.</p> <p>F Bouton de réglage pour la mise au zéro.</p> <p>O Oculaire.</p> <p>R Chariot portant la règle.</p> <p>V Chariot portant le vernier.</p> |
|--|--|

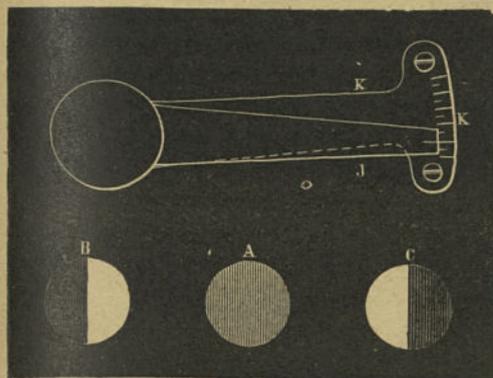


FIG. 26. — Réglage de l'angle.

pales permet de voir et de lire avec précision, ce qu'on ne pourrait faire si cet angle était fixe.

Nous avons souvent remarqué, dans notre longue pratique, que beaucoup de chimistes négligent d'utiliser cette précieuse qualité de l'instrument de Laurent : ils examinent toujours avec le maximum de lumière, ce qui ôte beaucoup de précision à leurs observations. On doit, au contraire, toujours observer avec le minimum possible de lumière (K' en bas) ; il faut naturellement, pour cela, décolorer les solutions aussi parfaitement que possible, ce qui est très important à tous les Points de vue.

Avant chaque observation, régler d'abord exactement le zéro de l'appareil en examinant un tube plein d'eau distillée, et manœuvrer l'appareil pour s'assurer que ce zéro reste bien fixe. Il faut avoir soin de faire tourner le tube sur lui-même dans la gouttière de l'appareil après avoir fait exactement l'égalité de teinte ; on rencontre parfois des obturateurs tellement défectueux qu'on trouve de ce fait des différences atteignant un degré saccharimétrique et même davantage. Les ballons jauges doivent aussi être soigneusement contrôlés.

Chaque fois qu'on vide un tube de saccharimètre, on le rince intérieurement à grande eau et on l'essuie. Au moment de s'en servir, on le rince une ou deux fois avec le liquide à examiner.

Dosage des sucres par les liqueurs

Alcalino-cuivriques

632. Le dosage des sucres par les liqueurs cuivriques est basé sur ce fait que les sucres étant des composés renfermant des groupes aldéhydiques, ce sont des corps réducteurs qui précipitent le cuivre

de ses solutions, en le transformant en sous-oxyde rouge. La liqueur cuivrique la plus usitée est celle de Fehling ; c'est un tartrate double d'oxyde cuivrique et de potasse avec excès de soude. En Allemagne on se sert généralement de la formule de Mohr dont 10 cc = 0,05 de sucre inverti ou de dextrose, ou 0.0475 saccharose ; en France, la formule la plus usitée est celle de Violette dont 10 cc = 0,05 saccharose = 0.05262 de dextrose ou de sucre inverti.

Pour bien se conserver, ces liqueurs doivent être préparées à froid et avec des réactifs très purs.

Sulfate de cuivre pur.....	34,64	36,46
Eau distillée.....	160	140
Sel de Seignette pur.....	187	200

Lessive de soude caustique.....
 D = 1,2 = 24° B

Voici comment nous préparons la liqueur Violette. Dans un ballon jaugé de deux litres, on introduit un litre de lessive de soude à 24° B, puis 400 gr. de sel de seignette, et on chauffe doucement le ballon au-dessus d'une toile métallique et d'un bec Bunsen à couronnement. D'autre part, on met dans une capsule de porcelaine le sulfate de cuivre avec 150 à 200 cc. d'eau distillée et on chauffe doucement jusqu'à dissolution complète. On laisse refroidir jusqu'à la température ordinaire. On verse ensuite peu à peu la deuxième solution dans la première, en agitant énergiquement le ballon après chaque addition pour redissoudre le précipité d'oxyde de cuivre Cu O qui se forme. On rince la capsule dans le ballon, on agite à nouveau et on fait refroidir celui-ci en le plongeant dans un seau d'eau froide. On complète à deux litres en ajoutant de l'eau et agitant, puis on conserve dans des flacons en verre teinté.

On contrôle cette liqueur au moyen de la solution sucrée pure. On fait dissoudre 10 gr. de sucre pur et sec dans 200 cc. d'eau additionnés de 5 gr. d'acide tartrique et on fait bouillir pendant 10 minutes. On laisse refroidir, on transvase dans un ballon de deux litres, on neutralise avec de la lessive de soude et on complète au trait de jauge à la température de 15° C. On emplit de cette solution une burette de 25 cc graduée par 1/10.

Quand la liqueur doit durer quelque temps, il est préférable de préparer à part 1° la lessive de soude et le sel de soignette dans 500 cc.

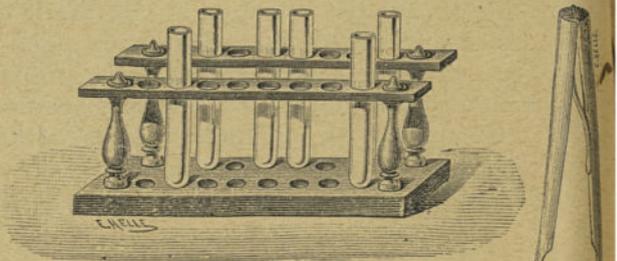


FIG. 31. — Saccharimétrie chimique.

2° le sulfate de cuivre dans 500 cc. Pour le dosage on prépare à l'avance 2 ou 300 cc. de liqueur en prenant moitié de chaque liqueur.

La conservation de la liqueur cuivrique n'est pas indéfinie et à la longue il y a formation d'un peu d'oxyde rouge de cuivre qui, en se précipitant change le titre de la liqueur. Une liqueur préparée de trop longue date peut, même sans avoir laissé précipiter de l'oxydure de cuivre, avoir un titre un peu différent de celui qu'elle possédait fraîchement préparée (H. Pellet.)

Au moyen d'une pipette jaugée à deux traits, on introduit 5 ou 10 cc. de liqueur cuivrique dans un tube en verre bien blanc fermé à une extrémité (tube à essai fig. 31), et on ajoute quelques morceaux de pierre ponce pour empêcher le liquide d'être projeté hors du tube par une ébullition trop brusque. Saisissant ce tube au moyen d'une pince en bois tenue dans la main droite, on porte le liquide à l'ébullition au-dessus d'un bec de gaz ou d'une lampe à alcool, en ayant soin d'agiter constamment le tube pour empêcher la surchauffe du verre et éviter de brûler le liquide. On fait tomber le liquide sucré dans la liqueur bleue, en versant d'abord 1 cc. à la fois, puis goutte à goutte quand la décoloration est assez avancée. On fait bouillir avant et après chaque addition nouvelle en agitant constamment, et on observe soigneusement la marche de la décoloration, en s'aidant d'une feuille de papier bien blanc au-dessus de laquelle on incline le tube pour examiner le liquide par transparence. On s'arrête aussitôt que la décoloration est complète en évitant de verser un excès. Quand la solution est bien incolore, on est averti par la coloration jaune que produit le plus léger excès de liquide sucré ; mais avec un liquide un peu coloré, il n'existe plus rien pour prévenir qu'on a dépassé la fin de la réaction. On doit continuer l'affusion du réactif jusqu'à ce qu'une goutte ne produise plus, à la surface du liquide, de trouble sensible, mais seulement une coloration jaune plus ou moins intense, tout en conservant à la solution une transparence parfaite.

Si les liqueurs ont été bien préparées, on trouve qu'elles se correspondent exactement volume à volume, c'est-à-dire que pour décolorer 10 cc de liqueur cuivrique il faut exactement 10 cc de solution sucrée.

L'opération doit être menée assez vivement, et le liquide maintenu toujours très chaud ; on ne doit donc jamais mélanger une quantité de liquide sucré trop grande à la liqueur cuivrique (pas plus de $\frac{1}{2}$ cc à la fois) car on refroidit le mélange, et le précipité, au lieu d'être grenu et bien rouge, est jaunâtre, floconneux et se dépose mal. Le liquide sucré doit tomber dans la liqueur même et non sur les parois du tube qui peuvent être surchauffées, si non il se produit sur ces parois des dépôts miroitants qui empêchent de juger la coloration exacte du liquide. La dilution du liquide sucré doit être telle que l'on emploie au moins 5 cc et au plus 15 à 20 cc pour un volume de 5 cc de liqueur

cuvrique. Quand on étend trop la liqueur cuivrique, même avec des solutions sucrées limpides, il est très difficile de saisir la fin de la réaction, et on s'expose à de erreur assez grossières.

Quand on a affaire à des liquides trop colorés pour qu'on puisse apercevoir nettement la fin de l'opération, on doit opérer par la pesée du précipité d'oxydure de cuivre après lavage et calcination ou réduction.

Si l'on calcine à l'air libre, ce qui est très facile, on a de l'oxyde noir de cuivre. Si l'on réduit par l'hydrogène, ce qui est plus compliqué, on a du cuivre métallique. La calcination doit être faite dans des mouffles à atmosphère oxydante (mouffle ordinaire chauffé ou coke ou au gaz). Mais avec des mouffles à alcool, il y a danger et l'on n'a pas le résultat exact.

De même si l'on chauffe sur un bec de gaz lequel produit suivant les moments une partie oxydante ou réductrice, le poids est variable. C'est pourquoi on a préféré la réduction de l'oxydure de cuivre recueilli dans un tube de Soxhlet, par l'hydrogène et la pesée du cuivre métallique.

Dans l'analyse des produits de sucrerie la réduction de la liqueur cuivrique se fait avec des mélanges variables de dextrose et de levulose et pour être plus correct on doit dire : *Réducteurs* calculés ou représentés en sucre inverti (H. Pellet.)

CHAPITRE IV

Origine de la betterave. — Culture. — Engrais.

La betterave (Runkel Rübe — Beet Root) est une plante du genre *béta*, de la famille des *Chénopodées*, famille qui renferme notamment une plante très connue, l'épinard. Son nom scientifique est *Béta Vulgâris*.

Au XVIII^e siècle, sa culture était encore confinée dans les jardins et n'a commencé à se répandre que depuis environ 90 ans. Sa culture ne couvre encore aujourd'hui que 700.000 hectares (1) ; mais elle rachète sa faible extension par d'énormes avantages. La betterave est une plante sarclée, et ce sarclage, qu'en termes de métier on appelle binage, contribue à la propreté du sol.

La culture et la sélection ont produit un grand nombre d'espèces et de variétés de betteraves. On peut distinguer les betteraves de grande culture en betterave fourragère, en betterave de distillerie et en betterave de sucrerie (Zucker Rübe, Sugar Beet).

(1) Les sucreries françaises sont outillées pour travailler les betteraves de 350 000 hectares.

De toutes les plantes de grande culture, c'est la betterave qui profite le mieux des engrais qu'elle reçoit, son rendement à l'hectare croît avec la quantité d'engrais rapidement assimilables distribués. Mais c'est aussi celle qui présente dans la composition de sa racine les écarts les plus considérables. Ainsi, tandis que la betterave fourragère renferme 4 à 5 o/o de sucre, la betterave de distillerie en accuse de 8 à 12 et celle de sucrerie de 14 à 20. Mais, tandis que la betterave fourragère donne 100.000 kgs à l'hectare, dans un sol riche en engrais appropriés, une betterave d'une richesse moyenne de 10 o/o n'en donnera généralement que 50.000 kgs, et la betterave de sucrerie, par exemple, 40.000. Comptons la production du sucre par hectare et la richesse de ces racines à 4, 8 et 12 o/o, et nous aurons $100.000 \times 0,04 = 40.000 \times 0,10 = 32.000 \times 0,125 = 4.000$ kgs de sucre par hectare. On voit que chacune de ces variétés peut donner une bonne récolte de sucre par hectare et que la betterave fourragère aurait l'avantage de fournir par hectare un plus grand poids de substance alimentaire. Mais si une betterave pauvre peut encore servir à la fabrication de l'alcool, elle ne peut être avantageusement employée à la fabrication du sucre. En distillerie, on transforme le sucre en alcool et c'est celui-ci que l'on extrait sans être en cela gêné par les impuretés de la betterave ; en sucrerie, c'est tout le contraire, puisque c'est le sucre tel quel qu'il s'agit d'extraire sans aucune altération. Or, ce sucre est altérable et les impuretés gênent l'extraction. Il importe donc de produire des racines riches en sucre et pauvres en substances étrangères qu'on appelle *non-sucre*.

Caractères extérieurs d'une bonne betterave à sucre. — La betterave est une racine pivotante ; elle présente une forme conique et s'enfonce plus ou moins profondément dans le sol. Elle est d'autant plus riche qu'elle s'enfonce plus en terre. La betterave fourragère (fig. 29) sort à moitié de terre et présente un collet d'une assez grande longueur, celle de distillerie sort légèrement de terre, tandis qu'une bonne betterave sucrière (fig. 30) est complètement enterrée. La betterave dont le collet sort de terre est dite *Bouteuse*. La betterave fourragère a la peau lisse ; les betteraves sucrières sont d'autant plus rugueuses au toucher qu'elles sont plus riches, et elles présentent deux sillons dits saccharifères, disposés à peu près suivant deux génératrices opposées. Ces sillons portent des radicelles minces et chevelues qui s'enfoncent profondément en terre et sont d'autant plus développées que la betterave est plus riche.

Si une betterave riche est fortement pivotante et présente un système de radicelles très développé, il découle immédiatement de là que pour cultiver cette espèce, il faudra avoir une terre dans laquelle la racine pourra s'enfoncer sans rencontrer de motifs susceptibles d'en-traver sa fonction naturelle, une terre peu compacte et bien *meuble*.



FIG. 32 — B. fourragère.

Si la terre est trop dure ou trop riche en surface, la racine ne pourra s'enfoncer convenablement dans le sol, elle deviendra *bouteuse*, *fourchue* ; elle sera moins riche, plus petite, mal formée et donnera beaucoup de perte à l'arrachage (fig. 34).



FIG. 33 — H Sucrière.

Les alluvions sablonneuses des vallées et des embouchures des fleuves (Magdebourg, Polders de Hollande, etc.) sont les terres défection des betteraves riches. Mais grâce aux perfectionnements de la culture, on obtient maintenant de bonnes récoltes dans les terres argilo-siliceuses (limondés plateaux) à couche arable épaisse et perméable et dans les terres à sous-sol calcaire.

Le sol arable doit non seulement être bien meuble, il doit en outre renfermer une certaine proportion d'humus provenant de la décomposition des matières organiques. Cet humus agit de plusieurs façons.

D'abord, c'est un régulateur d'humidité ; il l'absorbe quand il y en a en excès, et il ne la cède que lentement quand arrive une période de longue sécheresse. En plus de cela, il favorise l'échauffement du sol par le soleil, la couleur noire absorbant plus vite les radiations solaires que la couleur blanche. Enfin, cet humus favorise les réactions chimiques et la vie microbienne nécessaires à l'assimilation des substances nutritives par la plante.

La proportion d'humus ne doit pas être exagérée car la terre deviendrait acide, ce qui favoriserait le développement de certaines plantes nuisibles ; le sol doit être calcaire sans excès.

Nous avons dit que la betterave profite bien de l'engrais ; par contre elle en est exigeante.

Il faut d'abord un engrais qui entretienne dans le sol la dose

d'humus nécessaire ; le fumier de ferme répond très bien à cette condition. On incorpore donc à la terre, avant l'automne autant que possible, de 40 à 60.000 kilos de fumier de ferme par hectare, chiffre qui est précisément celui d'une très forte récolte en betteraves. Le fumier renferme tous les éléments nécessaires à la végétation : l'azote, l'acide phosphorique, la potasse, la chaux ; mais les renferme-t-il tous en proportions suffisantes ?

Il est évident que le fumier ne peut rendre à la terre tous les éléments minéraux qu'on lui a enlevés.

En exportant du blé, on exporte l'acide phosphorique, la potasse et la magnésie que le blé a enlevés des champs ; de même la vente d'un animal implique la disparition du phosphate de calcium de ses os et du phosphate de potassium de ses muscles. Le célèbre chimiste allemand Liebig annonça que par l'emploi exclusif du fumier on courait à la ruine, et comme il avait découvert la richesse en



FIG. 34. — Betteraves anormales.

azote des terres cultivées, il attribua la diminution de la qualité de la betterave longtemps cultivée sur le même terrain, aux prélèvements incessants de potasse qu'entraîne la culture de la betterave.

Mais une objection se présentait aux assertions de Liebig. Pourquoi le rendement cultural ne baisse-t-il pas ; pourquoi la richesse est-elle seule atteinte ? Si un élément nécessaire à la végétation avait réellement disparu, le poids de la récolte devait diminuer.

Une découverte inattendue, faite en 1864, sembla contredire la thèse de Liebig. On trouva à Stassfurt, dans l'Anhalt (Allemagne),

un immense gisement de sel gemme (NaCl) portant à sa partie supérieure d'épaisses couches de sels de potassium et de magnésium.

On put dès lors se procurer des sels de potassium à très bon compte, et on les fit entrer dans les formules d'engrais. Mais l'échec fut complet. On n'obtint ni plus de rendement, ni plus de richesse.

On en tira la conclusion que la plupart des terres cultivées étaient assez riches en potassium, pour que l'addition de nouvelles doses fût inutile, et que ce n'était pas à l'épuisement du sol en potassium qu'était due la mauvaise qualité des betteraves. En dosant comparativement l'azote et le sucre dans les betteraves, on trouva que les racines riches étaient pauvres en matières azotées et réciproquement.

Donc, si après plusieurs années de culture on ne récolte plus que des betteraves pauvres en sucre, ce n'est pas, disait-on, parce que les terres épuisées ne fournissent plus à la plante qu'une nourriture insuffisante ; c'est, tout au contraire, parce que de copieuses fumures ont enrichi la terre de matières azotées au point qu'elle ne porte plus que de grosses racines toutes gonflées d'eau, de matières albuminoïdes mais peu chargées de sucre.

Cependant, si Liebig exagérait un peu, il avait raison ; mais on ne savait pas appliquer ces engrais potassés ; on les employait trop tardivement et à des doses insuffisantes. En outre, point capital, les semences n'étaient pas sélectionnées.

Si on coupe une betterave en tranches minces perpendiculairement à sa longueur, on la trouve formée d'anneaux blanchâtres séparés les uns des autres par des zones circulaires d'une teinte plus sombre. La racine est donc formée de 2 tissus : le tissu blanchâtre est le tissu cellulaire, l'autre est le tissu fibreux. Le tissu fibreux est constitué par des vaisseaux qui descendent des feuilles aux racines, et une betterave est d'autant plus riche que le tissu fibreux est plus abondant, car ce tissu est riche en sucre et pauvre en *non-sucre*. Les betteraves riches sont très dures ; quand on les râpe, il ne se sépare pas de jus sans pression, le tout est retenu par le tissu fibreux ; au contraire les betteraves pauvres dans lesquelles *prédomine le tissu cellulaire*, laissent s'écouler beaucoup de jus avant toute pression.

Un excès d'azote étant nuisible à la qualité des racines, les fabricants de sucre interdirent l'emploi du nitrate de sodium qui était alors fort employé.

On fit ainsi une guerre injuste à cet engrais qui rend d'excellents services quand il est judicieusement employé.

Les fabricants trouvant des nitrates dans les betteraves, malgré leur interdiction, prétendaient qu'on avait violé leur contrat en mettant du nitrate de sodium sur les champs. En réalité ces nitrates provenaient du fumier et prenaient naissance par la fermentation nitrique des matières azotées organiques de cet engrais. Les betteraves étaient mau-

vaises parce qu'on mettait le fumier au printemps au lieu de le mettre avant l'hiver.

Quand on opère dans ces conditions, le fumier ne subit que tardivement la fermentation nitrique, en sorte qu'on met trop tard à la disposition de la plante le nitrate si utile au commencement de la végétation et si justement redouté à la fin. On emploie le nitrate de sodium à la dose de 200, 300 kgs et même 600 kgs à l'hectare.

Le calcio-cyanamide CaCAz^2 provenant de la combinaison de l'azote de l'air avec le carbure de calcium permet d'atteindre les mêmes rendements que le nitrate de sodium.

La betterave est particulièrement sensible à l'action des engrais azotés solubles tels que les nitrates et au plâtre.

Engrais phosphatés. — Nous avons vu que l'acide phosphorique est un des éléments enlevés au sol par la culture, et qu'il s'en va sous forme de phosphate de calcium et de phosphate de potassium. L'acide phosphorique doit être employé sous forme de superphosphate de calcium ($\text{PO}_4^2\text{Ca}^2\text{H}^2$ (15 à 17 p. 100 de PO_4^2) à raison de 400 à 600 k. par hectare ; quand on a des terres légèrement acides on peut remplacer les superphosphates par des phosphates minéraux (phosphate tricalcique (PO_4^2Ca^3) ou par des scories Thomas et Gilchrist (silico-phosphate à bases multiples), à la condition que ces engrais soient fort divisés, les scories Thomas (16 p. 100 d'acide phosphorique) doivent être réduites en poudre impalpable dans des broyeurs à boulets. Mais on réussit plus sûrement en chaulant d'abord la terre pour la rendre légèrement alcaline (3000 kgs chaux vive par hectare) avant d'employer le superphosphate.

Les engrais phosphatés agissent très favorablement sur la richesse en sucre quand la terre est trop chargée en azote.

Engrais potassiques. — On emploie le chlorure et le sulfate de potassium. L'assimilation de la potasse se fait à l'état de carbonate et de phosphate : il y a double décomposition entre les sels de potassium et les carbonate et phosphate de calcium du sol. Le sulfate de calcium (plâtre) formé est utile à la végétation, tandis que le chlorure de calcium est nuisible à la plante, à son développement comme à sa qualité sucrière ; donc le sulfate de potassium est préférable au chlorure.

Le nitrate de potassium est à employer de préférence au nitrate de sodium quand la terre a besoin de potasse. Le nitrate de sodium est le plus employé comme engrais azoté et Peligot a dit que le sodium du nitrate peut remplacer une partie du potassium et joue un rôle dans le développement de la betterave à sucre. Mais la potasse facilite la formation de sucre surtout dans les terrains trop chargés de soude.

M. Pellet indique que pour former 100 kgs de sucre, il faut mettre à la disposition de la plante la valeur de 1 kg à 1 kg 2 d'acide phosphorique assimilable, — de 3 à 5 kgs de potasse et de 2 à 3 kgs d'azote —

ainsi que des quantités peu variables de chaux et de magnésie. L'absorption des éléments fertilisants est à peu près proportionnelle à la quantité de sucre formé. Pour former beaucoup de sucre à l'hectare, il faut beaucoup de matières fertilisantes judicieusement mélangées. Mais plus la betterave est riche, plus elle est chargée de feuilles et plus les feuilles sont chargées de matières fertilisantes. En effet, le jus de la betterave est moins chargé de matières minérales quand la betterave est riche en sucre. Donc, en somme, plus la betterave est riche, plus il reste de principes actifs pour la récolte suivante, en supposant naturellement que les collets et les feuilles restent dans la terre, et c'est pourquoi les rendements en blé augmentent comme en Allemagne.

Préparation du sol (Feldbau-Tilling). — Il faut avoir un sol bien meuble et suffisamment profond. On laboure toute la couche arable sans attaquer notablement le sous-sol, avec une forte charrue qu'on appelle Brabant. On doit répartir le fumier sur toutes les terres à betteraves à la dose de 20 à 30.000 kgs. On binote légèrement, puis quelques semaines plus tard on laboure pour enterrer. Les gelées de l'hiver détruisent les grosses mottes de terre formées par la charrue. On sait, en effet, que l'eau occupe son volume minimum à la température de 4° C ; au moment de se solidifier elle augmente de volume, et sa force expansive fera tomber les grosses mottes en poudre. Les fermiers disent que la gelée mûrit les labours. Au printemps, on égalise bien la terre par des hersages, puis on complète la fumure par des engrais chimiques mis en surface, et on procède aux semailles.

Semailles (Saat-Sowing). — Le choix de l'époque des semailles est difficile. Si on sème trop tôt on s'expose à ce que la gelée fasse du tort, à ce que les insectes détruisent tout et on risque aussi d'obtenir des betteraves montant à graines dans le courant de l'été, s'il survient de

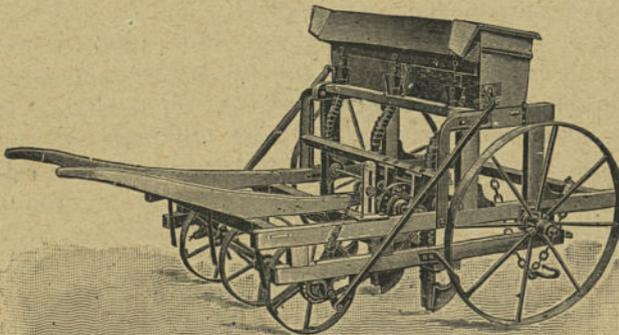


FIG. 35 — Semoir Bajac.

petites gelées ou des froids qui arrêtent un moment le développement de la jeune plante. Si l'on sème trop tard, la sécheresse peut arriver et retarder la levée.

On sème à l'aide d'un semoir (fig. 35) en lignes espacées de 40 à 45 centim. et à raison de 20 à 25 kgs de graines par hectare. La distance un peu forte facilite le passage des animaux entre les lignes pour les façons ultérieures.

On roule généralement la terre après le passage du semoir pour restreindre les espaces qui existent entre les petites mottes de terre et empêcher surtout dans les sols légers, une trop forte déperdition de l'humidité. La terre exerce ainsi sur l'eau une action capillaire qui, la pluie faisant défaut, fera parvenir à la graine l'humidité nécessaire à sa germination (fig. 36).

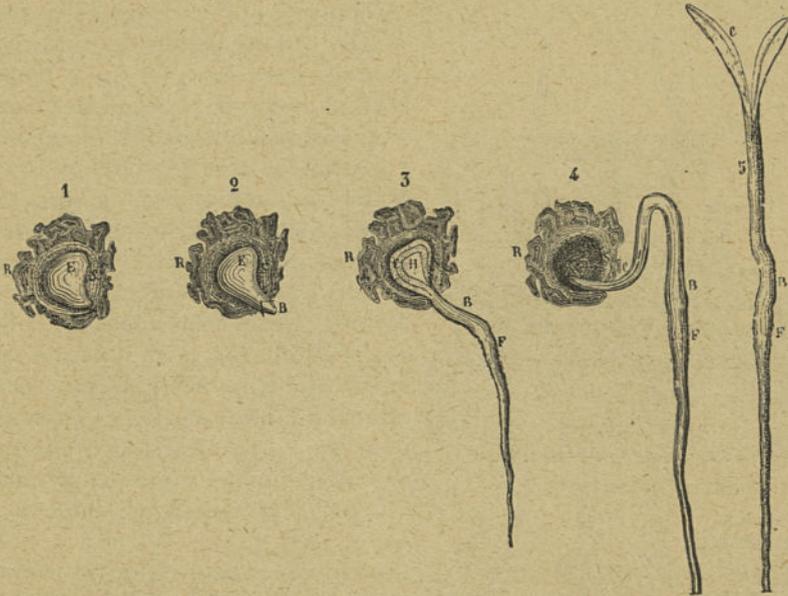


FIG. 36. — Graine de betterave en germination, B embryon, S tégument, R peau, B radicule, F radicule développée, H gemmule, S tégument

La profondeur à laquelle on enterre la graine a une grande importance. Avec un sol de consistance moyenne, argilo-silicieux, on obtient la meilleure levée lorsque la graine est recouverte d'une couche de 10 millimètres de terre roulée. Sous 25 millimètres de terre la levée est déjà mauvaise, parfois nulle.

Binage (Hacken-Weeding). — La betterave lève au bout de 8 à 10 jours ; on aperçoit des lignes vertes qui, quand la levée est bonne, ne présentent aucune interruption. En même temps l'espace entre les lignes se remplit de mauvaises herbes. On enlève les mauvaises herbes et on remue la terre à quelques centimètres de profondeur. Cette opération porte le nom de binage. Elle se fait au moyen d'une binette (fig. 37) et à la houe à cheval (fig. 38), instrument qui ameublisse le sol dans 3 ou 4 interlignes. L'effet du binage est opposé à celui que produit le roulage. On roule pour faire monter l'eau des cou-



FIG 37. — Binette à main

ches profondes à la surface après les semailles, afin d'humecter les graines et d'assurer la germination, mais quelques semaines plus tard, cette ascension de l'eau jusqu'à la surface où elle s'évapore devient nuisible. Le binage rompt la continuité de la terre, recouvre les couches humides d'une matière pulvérulente, au travers de laquelle l'ascension de l'eau ne se fait plus. Le dicton « Binage vaut arrosage » est parfaitement exact.

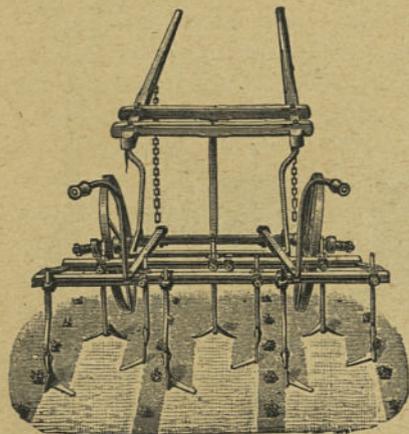


FIG. 33. — Houe à cheval (Bajac).

Démariage (Verziehen-Thinning).
— Dès que les betteraves ont quatre feuilles, sans compter les 2 feuilles cotylédonaux on procède au plaçage ou démariage. La racine a, au collet, 1 à 2 millimètres de diamètre, c'est-à-dire au maximum la grosseur d'une allumette. Il importe de faire le démariage le plus tôt possible sans laisser grossir ni s'enchevêtrer les racines, sinon elles montent à filet et s'étiolent. Les petites plantes sont beaucoup trop serrées (une seule graine donnant plusieurs germes), pour pouvoir se développer normalement ; il faut en enlever de façon à n'en laisser que tous les 20 à 25

centimètres.

Après le démariage on fait de nouveaux binages. Ceux-ci doivent être répétés assez souvent, au plus tard tous les 15 jours, et il faut au moins 4 binages. Dans les terres bien cultivées, n'ayant que peu de mauvaises herbes, on fait souvent le 1^{er} binage à la houe à cheval, le 2^e au démariage se fait à la binette et à la main, le 3^e à cheval, le 4^e à la main, etc. On cesse les binages quand les feuilles couvrent toute la terre. Ce travail exige beaucoup de main-d'œuvre, et il n'est possible que dans les pays où celle-ci est à bon marché ; c'est pour cela que la culture de la betterave n'a pu s'établir que très difficilement dans les pays où les salaires sont élevés, comme en Angleterre et aux États-Unis, tandis qu'elle se développe actuellement en Italie et surtout en Espagne où la main-d'œuvre n'est pas à un prix trop élevé.

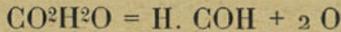
Saccharogénie ou Formation du sucre.—La betterave se développe, ses feuilles couvrent bientôt tout le sol. Semée en avril, elle commence à former du sucre dès que la racine pèse quelques décigrammes (H. Pellet). Comment se fait le sucre, quelles sont les causes de la saccharogénie ? Davy remarqua que les betteraves étaient toujours plus riches après un bel automne, et il en conclut, que la lumière solaire était nécessaire au développement du sucre. Achard signala l'habitude

qu'avaient un grand nombre de fermiers d'enlever les feuilles des betteraves pour les donner aux animaux ; il démontra que l'effeuillage est une mauvaise opération aussi bien pour la qualité que pour la quantité de la récolte en betteraves : la perte en richesse peut atteindre 4 p. 100 et la perte en poids de racines, 20 p. 100. Il se forme de nouvelles feuilles et la richesse diminue dans chaque cas (fig.39). Plus tard, Violette, professeur à la Faculté et à l'Institut Industriel de Lille, démontra également l'influence de l'effeuillage et il en conclut que les feuilles secrètent le sucre.

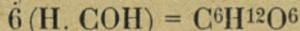


FIG 39. — Betteraves normales. Betteraves effeuillées.

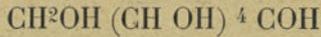
Enfin en 1883-84 M. Aimé Girard a prouvé que le sucre s'élabore dans les feuilles pendant le jour, et que ce sucre passe dans la racine par les pétioles. Les feuilles absorbent CO^2 de l'air et l'eau du sol et les décomposent sous l'influence des rayons solaires en donnant de l'aldéhyde formique (formol, méthanal) et de l'oxygène qui est rendu à l'atmosphère :



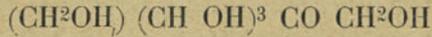
Cette aldéhyde se polymérise en donnant un sucre hexose :



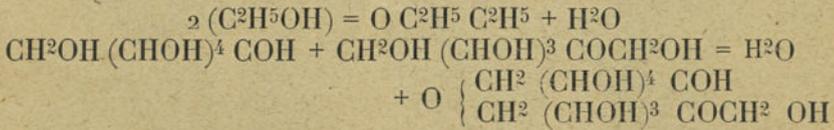
Cette opération a été réalisée dans les laboratoires. Au moyen de l'aldéhyde formique on prépare un aldo-hexose :



que l'on peut transformer en ceto-hexose :



De même que 2 molécules d'alcool éthylique peuvent s'unir avec perte d'une molécule d'eau pour former l'éther ordinaire ou éthyléthylique, qui est un véritable anhydride d'alcool, de même, par l'union d'une molécule de dextrose avec une molécule de lévulose, il se produit une molécule de Saccharose et il se sépare une molécule d'eau :



La conclusion qu'il faut tirer de ce qui précède, c'est qu'il faut à la betterave beaucoup de lumière, de chaleur et suffisamment d'humidité, et qu'on n'obtiendrait que de mauvais résultats dans les champs peu exposés aux radiations solaires.

Les radicelles dont nous avons parlé servent à l'alimentation minérale et azotée de la betterave ; par conséquent pour avoir une betterave riche en sucre et pauvre en non-sucre, il faudra faire une culture dans un sol pourvu de matières minérales facilement assimilables et contenant une réserve d'humidité.

Production de la graine. — Rüben Samen-Beet Seed

La betterave sauvage est une plante annuelle ; la betterave cultivée est une plante bisannuelle. Celle-ci ne produit la première année qu'une racine et des feuilles ; ce n'est que la 2^e année qu'elle forme une tige, des fleurs et des graines. Quelquefois elle monte à graines la 1^{re} année, mais ce fait est rare dans les années où la végétation suit son cours normal ; il se produit quand la racine a souffert d'alternatives de sécheresse et de fortes pluies, de chaleur et de froid. C'est un cas d'atavisme (atavus-aïeul).

La production des graines ne doit donc avoir lieu qu'en seconde année de culture, et les betteraves qui les donnent sont appelées porte-graines (Samen Rübe, Seed Beet).

On ne maintient une race de betteraves que par une sélection très sévère des porte-graines, sinon l'espèce dégénère rapidement.

Le choix des porte-graines se faisait autrefois d'après l'aspect, puis on employa les bains salés pour choisir les sujets les plus denses ; actuellement, on a recours à l'analyse. On prélève un petit échantillon au moyen d'une sonde, on l'écrase dans la rape-pressé Mastain, on

prend la richesse au polarimètre, puis on conserve les racines sélectionnées dans des silos jusqu'au printemps. On repique alors celles qui se sont conservées intactes. Malgré sa petite blessure, la betterave se remet à pousser ; elle développe une tige qui atteint 0.80-1^m10, et qui porte d'abord des fleurs verdâtres, puis des graines. Pendant ce temps, la racine continue à grossir. On récolte les graines à l'automne au moment où elles sont sèches et on les conserve avec soin. Avant de les mettre en vente, on en sème un petit nombre afin de s'assurer de leur faculté germinative.

Ennemis de la betterave

Nématode. — La betterave a un grand nombre d'ennemis parmi lesquels nous citerons les Nématodes (fig. 40) appartenant à la même famille que la Trichine. On évite cette maladie en écartant toute cause de contamination par les détritius, par les boues de lavage. Quand une terre est infectée, on la chaule fortement, on cesse la culture de la betterave, on évite la culture de plantes contraires à la Nématode (pommes de terre, chitorée, etc.).



FIG. 40.

B. Nématodes fixés sur le cheveu de la bet

C. Nématodes pondant et œufs dans leur écouve, récolte.

L'atomaria, le ver gris (chenille de la noctuelle), le ver blanc (larve du hanneton), les sylphes, les cassides, etc., causent, certaines années, de grands ravages et le cultivateur doit lutter sans relâche contre ces animaux nuisibles qui peuvent compromettre la

CHAPITRE V

Composition de la betterave

La chair de la betterave se compose :

1° d'une carcasse constituée par des matières insolubles, cellulaires et ligneuses ;

2° d'un jus renfermant toutes les matières solubles de la racine et qui servent à la nutrition de la plante.

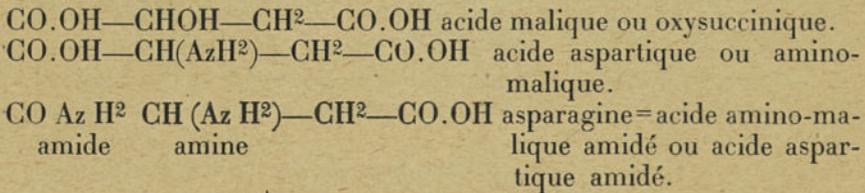
La betterave renferme en moyenne 93 à 95 pour 100, de jus et 7 à 5 p. 100 de marc. Le marc se compose de cellulose, de matières pectiques (pectoses) de matières gommeuses (arabanes, galactanes, pentosanes, etc...) de matières grasses et de matières minérales.

Le jus a, en moyenne, la composition suivante dans la betterave de sucrerie :

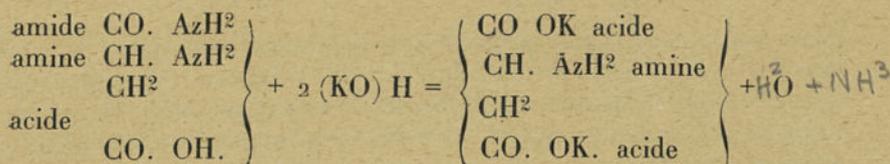
Eau	80,00	78	2													
Sucre	14	15	20													
Matières solubles	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>non azotées</td> <td>0,35</td> <td rowspan="3" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">1,75</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">2,25</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">1,15</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">1,50</td> </tr> <tr> <td>azotées</td> <td>0,75</td> </tr> <tr> <td>minérales</td> <td>0,5</td> </tr> </table>	}	non azotées	0,35	}	1,75	2,25	1,15	}	1,50	azotées	0,75	minérales	0,5		
}	non azotées		0,35	}							1,75	2,25	1,15	}	1,50	
	azotées		0,75													
	minérales	0,5														
Matières insolubles	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td>non azotées</td> <td>0,65</td> <td rowspan="3" style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">4,25</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">4,75</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">6,50</td> </tr> <tr> <td>azotées</td> <td>3,25</td> </tr> <tr> <td>minérale:</td> <td>0,35</td> </tr> </table>	}	non azotées	0,65	}	4,25	4,75	6,50	azotées	3,25	minérale:	0,35				
}	non azotées		0,65	}					4,25	4,75	6,50					
	azotées		3,25													
	minérale:	0,35														
	100,00	100,00	100,00													

Les matières *organiques* solubles de la betterave étrangères au sucre s'appellent *non sucre organique* ; on les divise en matières azotées et en matières non azotées.

Non sucre organique azoté. — Il y en a en moyenne 0,5 à 1,0 pour 100. Il se compose surtout d'albumine végétale, corps lévogyre, coagulable par la chaleur et les acides, de légumine ou caséine végétale (principe nutritif du bouillon de légumes), incoagulable par la chaleur mais se coagulant par tous les acides ; d'asparagine, de glutamine, de la betaine (0,1 à 0,25 pour 100), etc. L'asparagine dérive de l'acide aspartique qui lui-même dérive de l'acide malique.

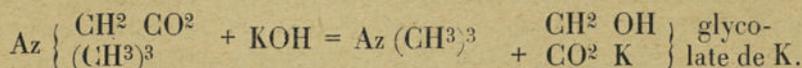


Ce corps, à la fois acide, amine et amide, est un produit de la dégradation des matières albuminoïdes, et joue le rôle d'acide faible vis-à-vis des bases. Elle forme avec la chaux et la baryte des composés solubles. Quand on la fait bouillir avec un alcali fixe (potasse, soude, chaux, baryte), le groupe *amide* est attaqué. Elle se décompose en acide aspartique qui s'unit à la base et en AzH^3 qui se dégage.



Cette réaction explique le dégagement continu de l'AzH³ qui se produit pendant le traitement alcalin des jus de betteraves et la rétrogradation de l'alcalinité des jus pendant l'évaporation.

La Bétaïne donne dans les mêmes conditons de la triméthylamine et de l'acide glycolique.



Non-sucre organique non azoté. — Il comprend :

1° Des acides organiques. — Ces acides se trouvent surtout à l'état de sels neutres et de sels acides de potassium et de sodium, de calcium, etc. Les plus abondants sont les acides citrique, malique, tartarique, tartrique, oxalique et succinique. Ces acides forment pour la plupart avec la chaux des sels peu solubles dans l'eau froide et presque insolubles dans l'eau chaude.

2° Des matières pectiques. — Les betteraves renferment de la pectose (hemi cellulose ou metaarabine (C¹²H²⁰O¹⁰), matière neutre insoluble dans l'eau et dans l'alcool. La pectose se transforme très facilement, sous l'influence des acides étendus et de la chaleur, en pectine, corps soluble dans l'eau, que l'on rencontre également dans la betterave. Dans celle-ci, toute la pectose est transformée en pectine pendant la maturation.

A côté de la pectose et de la pectine, il y a dans la betterave de la *pectase*, ferment soluble qui transforme la pectine en acide pectosique, acide gélatineux qui est à peine soluble dans l'eau froide. Une action plus accentuée de ce ferment transforme l'acide pectosique en acide pectique complètement insoluble. Les alcalis en excès et l'eau bouillante produisent la même transformation.

Quand on abandonne le jus de betterave à lui-même, au bout de peu de temps, il devient visqueux et se prend en masse. Ce phénomène est dû à la transformation de la pectine soluble en acides pectosique et pectique insolubles, sous l'influence de la pectase. Quand on chauffe par trop pendant l'extraction du jus de la betterave, il se forme également de l'acide pectique qui augmente la viscosité des jus.

La chaux et la baryte transforment la pectine en acide pectosique qui s'unit à la base pour former un pectosate insoluble ; en présence d'un grand excès d'alcali c'est un pectate qui se forme, corps égale-

ment insoluble. L'action prolongée de l'eau bouillante transforme l'acide pectique en acide métapectique soluble (arabinose ou acide arabique $C^{12}H^{22}O^{10}$). De même l'ébullition de la pectine ou de l'acide pectique en présence d'un grand excès de chaux donne du métapectate de calcium soluble.

Dans la préparation des confitures il faut assurer la prise en gelée. Pour cela, il faut d'abord choisir des fruits riches en matières pectiques et bien murs pour que ces matières soient solubles et ne restent pas dans le marc (pectine). On chauffe doucement le jus jusqu'à 70-75° C pour laisser à la *pectase* le temps d'agir, puis on fait bouillir énergiquement pour compléter par la chaleur l'action de la *pectase*, pour intervertir le sucre et par suite empêcher sa cristallisation ultérieure et enfin pour stériliser. Une ébullition trop prolongée transformerait une partie de l'acide pectique insoluble en acide métapectique (arabique) soluble (1).

La constitution des matières pectiques n'est pas bien connue. Leur molécule semble être très complexe, car l'hydrolise y a caractérisé jusqu'à présent des pentoses (arabinose, xylose et du galactose).

Matières minérales. — Les matières minérales de la betterave se composent d'acides minéraux et de bases minérales, celles-ci sont en grande partie unies aux acides minéraux et en partie aux acides organiques déjà cités.

Les matières minérales de la betterave sont les bases potasse, soude, CaO, MgO, et les acides phosphorique, sulfurique, chlorhydrique et nitrique.

Quand on incinère la betterave, la matière organique brûle, les bases alcalines sont transformées en carbonates et dans les cendres se trouvent toutes les matières minérales, plus l'acide carbonique qui sature les bases primitivement combinées dans la plante aux acides organiques. La betterave sucrière ne laisse que 0,5 pour 100 de cendres, celle de distillerie en donne de 0,5-0,75 à 1,5 pour 100.

Sucres de la betterave. — Le sucre contenu dans la betterave est le saccharose ; c'est un hexobiose ou disaccharide. La betterave riche en contient en moyenne 15 p. 100, mais elle peut en renfermer jusqu'à 20 p. 100.

La betterave renferme aussi du sucre inverti, mélangé de dextrose et de levulose. En général on trouve de 0,10 à 0,20 de matières réductrices p. 100 de jus dans la betterave normale. Pendant la conserva-

(1) Dans le rouissage du lin à l'autoclave, la pectose renfermée dans le parenchyme libérien se transforme, sous l'influence de la chaleur, en acide pectique, qui constitue ce que l'on appelle la graisse du lin et donne aux fibres de la souplesse et du brillant. Quand l'action de la chaleur est trop prolongée, l'acide pectique est transformé en acide métapectique et la fibre perd sa qualité.

tion les réducteurs peuvent augmenter. On en a dosé jusqu'à 0,50 pour 100.

On y rencontre parfois aussi du raffinose ou méltiriose qui gêne la cristallisation du sucre et se concentre dans les mélasses. En 1905-06, on en a trouvé jusqu'à 0,07 à 0,08 p. 100 dans la betterave ; en moyenne on en calcule de 0,02 à 0,10 p. 100.

ANALYSE SOMMAIRE DE LA BETTERAVE

Densité du jus. — On coupe les betteraves longitudinalement, on rape le 1/4 de chaque racine, et on place la pulpe dans un linge bien sec qu'on soumet à l'action de la presse. Le jus extrait reste au repos 15 minutes dans une éprouvette, pour laisser à la pulpe folle le temps de remonter, et à l'air le temps de se dégager, puis on prend la densité et la température avec des instruments poinçonnés. On fait la correction au moyen de la table de Saillard ou autre et on inscrit la densité réelle.

La fig. 41 représente la rape et la fig. 42 la presse les plus employées.

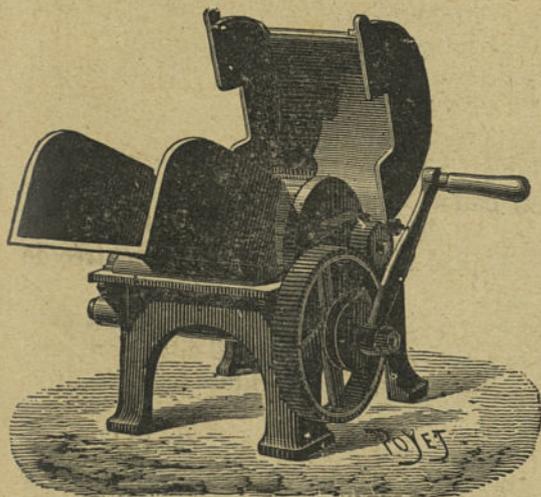


FIG. 41. — Rape à tambour.

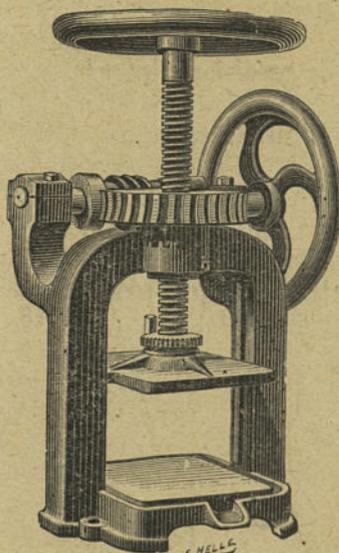


FIG. 42. — Presse.

En France, le fabricant de sucre achète la betterave d'après la densité du jus et à condition que le jus renferme au moins 2 k. de sucre par degré et par 100 k. de betteraves. En Belgique on l'achète directement à la richesse de la betterave elle-même. *on l'analysant par la méthode de diffusion aqueuse à froid instantanée de Keller (avec emploi d'un appareil spécial de Sachs Hedosté)*

Sucre par 100 cmc (décilitre) de jus. — Dans un ballon de 100-110 cmc on met 100 cmc de jus, 4-6 cmc de sous-acétate de plomb, on complète à 110, on agite, on jette sur un filtre et on examine le liquide clair au polarimètre, en employant le tube de 200^{mm}. On obtient le sucre en volume S par le calcul suivant :

$$S = n \times 1,1 \times 0,1629$$

n = nombre de degrés, lus au polarimètre ; 1,1 coefficient de correction tenant compte de la dilution de 100 à 110 cmc ; 0,1629 valeur d'un degré du polarimètre.

Sucre par 100 gr. de jus. — Soit Sp, le sucre en poids contenu dans 100 gr. de jus et D, la densité du jus.

On a :

$$Sp = S \times \frac{100}{D}$$

Sucre par 100 gr. de betterave. — La proportion de sucre s contenue dans 100 gr. de betterave est :

$$s = Sp \times \frac{j}{100} = \frac{S \times 100 \times j}{D \times 100} = \frac{S \times j}{D}$$

pour la betterave sucrière riche, j est en moyenne de 95 %.

Comme on ne connaît pas exactement ce chiffre, il faut, pour plus de précision, doser le sucre directement dans la betterave.

On peut opérer par diffusion aqueuse instantanée à froid ou par diffusion aqueuse à chaud. *de Peller*

1° *Diffusion aqueuse instantanée à froid :*

On introduit dans un ballon jaugé de 200 cmc ou mieux, pour éviter toute correction, dans un ballon Pellet jaugé à 200 cmc 5 ou à 201 cmc, 16 gr. 29 ou 32 gr. 58 de râpure fine, on ajoute de l'eau froide jusqu'à naissance du col, puis 3-4 cc de solution concentrée de sous-acétate de plomb (fig. 43).

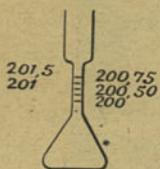


FIG 43.

On complète au trait de jauge après avoir soigneusement abattu la mousse par une ou deux gouttes d'éther, on agite par retournement, on laisse reposer quelques minutes, puis on jette sur un filtre.

En examinant le liquide au polarimètre, on lit directement la richesse en sucre par 100 gr. de betterave. Pour l'application de cette méthode, il est nécessaire d'avoir une pulpe d'une très grande finesse. On peut obtenir cette pulpe en rapant la betterave au moyen d'une râpe conique système Pellet, dont on a remplacé le disque denté par un disque taillée comme les limes à bois (taille Keil). Cette râpe se compose d'un arbre portant un disque épais au centre et se terminant sous un angle de 30° à sa circonférence (fig. 44.) Il enlève dans la betterave une tranche proportionnelle au poids de la racine et

ou mieux par de l'alcool à 96° contenant un peu d'éther

cela sur toute la longueur du sujet. Quand on ne possède pas cette râpe, on prélève sur la betterave un petit cylindre en perçant obliquement à 45° de façon à rencontrer l'axe de la racine au quart de sa longueur, on use ce petit cylindre ^{avec} une lime bâtarde et on reçoit la crème dans une assiette qu'on recouvre immédiatement.

2° Diffusion aqueuse à chaud. *de Pellet*

Le ballon étant préparé comme pour la diffusion aqueuse instantanée à froid, on le porte dans un bain-marie à l'ébullition et on chauffe durant 20 minutes à une demi-heure. Pour éviter toute évaporation, on peut munir les ballons d'un tube en verre d'un mètre de longueur qui fait retourner l'eau évaporée. On retire le ballon du feu, on refroidit et on complète au trait de jauge, si c'est néces-

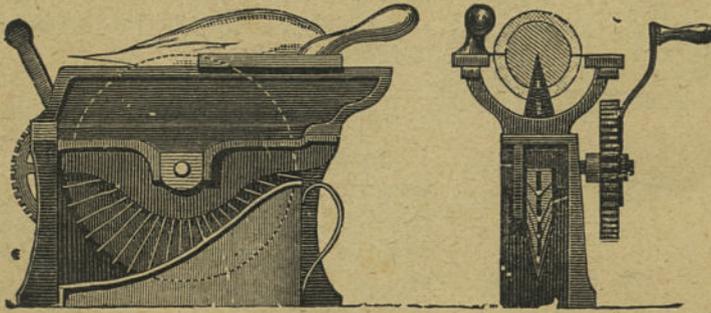


FIG 44. — Râpe conique Henri Pellet.

saire, on agite par retournement, on filtre et on polarise. Cette méthode n'exige pas une pulpe extrêmement fine comme la méthode à froid.

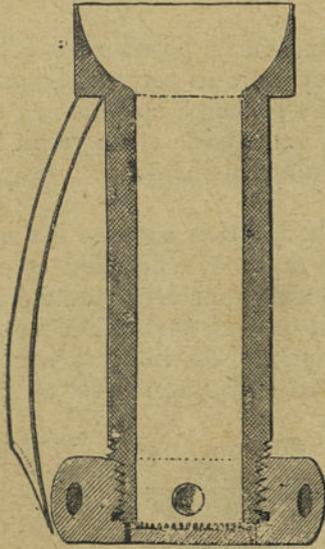
On peut aussi se servir de la *Presse-râpe de Mastain, dite Sans-Pareille*.

On introduit la betterave sous forme de petit cylindre, de hachure ou de pulpe grossière dans un cylindre en acier C qui se termine en haut par un entonnoir et en bas par une saillie annulaire r portant une denture radiale. Un disque D formant écrou se visse à l'extérieur du cylindre et la partie plane pp vient s'appliquer contre la partie dentée. (fig. 42).

Tout autour de cette partie plane règne une gouttière circulaire, communiquant avec l'extérieur par des lumières. Un piston entrant à frottement doux dans le cylindre écrase la betterave et l'oblige à se diviser très finement pour sortir à l'état de bouillie par les lumières.

Il faut bien mettre le piston en face du trou du cylindre, s'assurer que la taille repose bien sur la partie plane de l'écrou et ne pas forcer lorsque le piston est à fond de course.

Proportion de jus dans la betterave. — Connaissant la proportion



de sucre s dans 100 gr. de betterave et la proportion de sucre Sp dans 100 gr. de jus, on a pour la proportion de jus dans la betterave

$$j = \frac{s}{Sp}$$

Ce chiffre peut être utile pour l'analyse de la betterave par la méthode indirecte. On dose alors le sucre dans le jus de chaque lot de betterave et on fait de temps en temps une analyse pour doser le sucre directement dans la racine et calculer ainsi la proportion de jus. C'est ce chiffre qu'on substitue dans le calcul au chiffre hypothétique 94 ou 95.

Quotient de pureté de la betterave

On appelle quotient de pureté le rapport du sucre contenu dans le jus à la matière totale dissoute dans ce jus. Pour avoir ce dernier chiffre, il faudrait évaporer un certain volume de jus, dessécher le résidu et le peser. On peut simplifier l'opération en admettant que le non-sucre contenu dans ce jus a à peu près, sur le densimètre, la même influence que le sucre lui-même.

Ainsi un degré au densimètre représente à peu près 2 kilos 60 de sucre par hectolitre. Si donc on a un jus de betterave marquant 107 au densimètre les 7 degrés densimétriques représentent :

$$7 \times 2,6 = 18 \text{ k. 2.}$$

de matières dissoutes par hectolitre. Si le jus de cette betterave accuse une richesse au polarimètre de 16 %, le quotient de pureté sera :

$$\frac{16 \times 100}{18,2} = 87$$

Mais ce chiffre de 2,6 n'est qu'approximatif et il est nécessaire pour avoir une approximation suffisante de consulter les tables de Vivien ou autres.

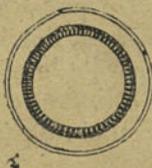
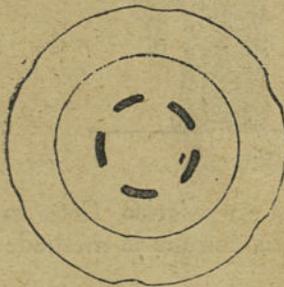


FIG. 43

Cendres de la betterave. — Le dosage des cendres se fait en évaporant 5 centim. cubes et en ajoutant un centimètre cube d'acide sulfurique au moment où la matière arrive à siccité. On incinère ensuite au rouge cerise jusqu'à ce qu'on obtienne des cendres bien blanches. On pèse, on déduit un dixième pour tenir compte des sulfates formés.

Quotient salin. — C'est le rapport du sucre aux cendres. Ainsi une betterave qui accuse 14 o/o de sucre et 0.65 o/o de cendres a un coefficient salin de $\frac{14}{0,15} = 22$.

Valeur proportionnelle. — Une betterave a d'autant plus de valeur qu'elle est plus riche en sucre et que le jus qu'elle donne est plus pur. La valeur proportionnelle est donc le produit de la richesse par le coefficient de pureté.

CHAPITRE VII

Avantages de la culture de la betterave. — Récolte et Préparation mécanique des racines.

La fabrication du sucre de betterave appartient au groupe des industries agricoles. On appelle ainsi celles qui traitent directement les produits du sol et fournissent ou un aliment de première nécessité ou un produit industriel (sucre, alcool, amidon, etc...) et des résidus ayant une notable valeur pour l'agriculture. Comme industries agricoles, on peut citer la sucrerie et la distillerie de betteraves, la distillerie de pommes de terre et de grains, la meunerie-boulangerie, l'amidonnerie de grains et la féculerie de pommes de terre, la braserie, etc....

Parmi ces industries, la sucrerie de betteraves présente un grand intérêt. Le sucre, quoique ayant une très grande valeur alimentaire, n'est pas un aliment absolument indispensable, mais la production de la betterave exerce une influence très salutaire sur l'agriculture.

1° Les fréquents nettoyages du sol (sarclages ou binages) que cette plante oblige à donner aux terres et les feuilles restituées au sol, augmentent non seulement le rendement cultural en betteraves, mais encore en blé et autres céréales cultivées après la betterave.

2° Les résidus que laisse le travail des betteraves sont précieux pour la nourriture du bétail, non seulement par leur valeur intrinsèque, mais encore par la facilité avec laquelle on les conserve d'une année à l'autre, ce qui présente une grande importance, surtout quand les fourrages, à la suite de longues sécheresses, sont chers, comme c'est arrivé fréquemment.

3° Tous les éléments du sucre sont prélevés dans l'atmosphère (carbone, oxygène et hydrogène), en sorte que leur exportation n'enlève rien au sol.

Au point de vue industriel, la sucrerie présente une très grande importance ; elle donne beaucoup de travaux aux ateliers de construction, elle consomme une quantité de houille considérable et elle donne beaucoup de mouvement à nos canaux, à nos chemins de fer. Enfin, au point de vue de l'ingénieur, la sucrerie soulève un grand nombre de problèmes techniques dont la solution exige des connaissances se rattachant à presque toutes les sciences.

Extension de la culture de la betterave

Actuellement, la culture de la betterave est très développée en France, en Allemagne, en Autriche, en Russie, en Belgique, en Hollande, en Danemark et en Suède.

Elle a été introduite dans ces dernières années, en Espagne, le seul pays d'Europe qui cultive la canne, et en Italie ; mais elle rencontre dans ces pays deux grands obstacles, le climat et la cherté du combustible, qui compensent certains avantages.

Aux Etats-Unis, une fabrique de sucre de betteraves a été établie à Alvarado, en Californie, en 1875. Détruite par une explosion de générateur, en 1885, elle a été reconstruite sur le plan des usines modernes et a donné de bons résultats (800 tonnes). A la même époque (1890) Oxnard installa une sucrerie dans le Nébraska.

Spreckels, le roi du sucre, après avoir nié la possibilité de faire du sucre de betterave aux Etats-Unis, fit un voyage en Europe et monta, en 1889, une sucrerie à Watsonville (inactive).

Nous avons déjà dit que ce qui rendait difficile la culture de la betterave aux Etats-Unis c'était la cherté de la main-d'œuvre ; c'est pour cela que cette culture a d'abord réussi en Californie, où les binages sont faits par des Chinois et des Japonais, et dans le Nébraska où l'on a à sa disposition beaucoup d'ouvriers russes.

Ce qui a contribué à l'extension de la culture de la betterave aux Etats-Unis, c'est l'adoption dans les régions arides du système d'irrigation.

On considérait comme absurde, en Europe, l'idée de produire de la betterave riche sur des terres irriguées et en Californie, malgré des sécheresses désastreuses, on se refusait à essayer cette méthode qui

fut employée avec succès dans l'Etat d'Utah et avec encore plus de succès au Colorado, où la betterave réussit le mieux aujourd'hui.

En Californie, on a également appliqué ce système. La terre étant suffisamment humide à l'époque des semailles, on n'irrigue plus qu'après le démariage, et on retarde l'irrigation le plus possible, de façon à obliger la plante à chercher l'humidité dans le sous-sol en prenant une forme pivotante (*tap-root*).

L'irrigation doit être répétée deux trois fois dans la saison et être complètement arrêtée aussitôt que la betterave montre des signes de maturation.

C'est le système des irrigations qui a permis de faire de la betterave dans le midi de la France, en Espagne, en Italie, en Egypte. En Italie, on cesse les irrigations cinq à six semaines avant de commencer la récolte.

Actuellement, il y a une soixantaine de sucreries aux Etats-Unis : les plus importantes sont celles de Spreckels, 3.000 tonnes, et d'Oxnard, 1.800 tonnes, toutes deux en Californie.

Les betteraves américaines ont en moyenne de 14 à 16 % de sucre ; celles de la côte du Pacifique et celles des régions dites arides, cultivées sur des terrains irrigués, ont de 17 à 22 % de sucre, en moyenne 19 % ; mais en Californie les betteraves sont très impures et contiennent beaucoup de sels ; la pureté est parfois inférieure à 78.

Dans le Colorado, le terrain est excellent et les betteraves produites avec une richesse de 17 à 18 % de sucre, sont très pures.

Dans le Michigan, on a dû en plusieurs endroits abandonner la fabrication du sucre à cause de la pauvreté de la betterave, de son prix élevé, du prix élevé des installations et de la difficulté d'utiliser les sous-produits, pulpes et mélasses.

Deux sucreries se sont transportées dans l'Utah et l'Idaho. Actuellement, c'est dans les régions des hauts-plateaux situés au Nord de Denver (Colorado), dans l'Utah et dans l'Idaho, que l'on installe de préférence des sucreries, et l'on cultive avec irrigation.

On estime que les sucreries de betteraves des Etats-Unis ne peuvent subsister que grâce à une protection énergique et qu'elles succomberont le jour où cette protection leur sera retirée.

En Espagne, c'est à Grenade, à 65 kilomètres de la côte, que la betterave réussit le mieux. On la cultive depuis 1885 par le système d'irrigation tel qu'il a été imaginé et réglementé par les Arabes lors de leur domination dans ce pays. On a des rendements de 50.000 kgs de betteraves à 15 % à l'hectare. En Egypte, où l'on irrigue également, on produit des racines à 17 et 18 % de sucre, mais les dégâts causés par le ver du coton ont presque fait abandonner cette culture.

Arrachage de la betterave (Herausnehmen ; Pulling). — Quand la betterave est mûre, c'est-à-dire lorsque les feuilles commencent à

jaunir, on arrache les racines, on les secoue pour faire tomber la terre, on coupe les feuilles avec le collet et on met les betteraves en tas qu'on recouvre de feuilles. Pour faciliter l'arrachage, on se sert le plus souvent d'une bêche, quelquefois d'une fourche.

Les difficultés de se procurer la main-d'œuvre font recourir à des instruments trainés par des animaux. Ce sont des espèces de char-rues sans versoir qui fendent le sol sans le retourner ; les betteraves sont soulevées dans la terre mais laissées sur place dans leurs alvéoles ; les racines et les radicelles sont brisées, il n'y a plus qu'à sortir les betteraves à la main pour couper les collets. La figure 46 représente l'arracheur de Bajac (Liancourt).

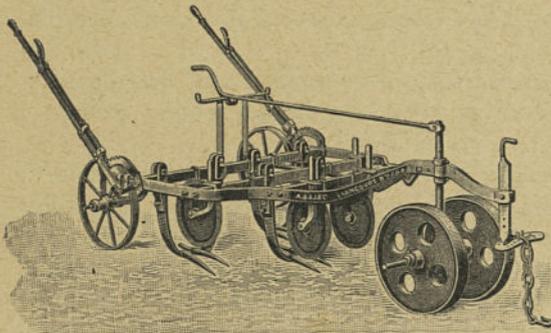


Fig. 46. — Arracheuse Bajac.

L'usage des arracheuses à cheval est préférable à celui des fourches ; celles-ci blessent les betteraves et en amorcent la pourriture.

La betterave mise en tas est ensuite chargée sur des tombereaux et conduite à l'usine. Quand les distances sont trop grandes on a recours aux

chemins de fer, ou, ce qui est plus économique, aux canaux. La voie ferrée présente cependant l'avantage d'un approvisionnement plus sûr. Beaucoup d'usines sont à la fois raccordées au canal et au chemin de fer. Dans certains pays, on installe aussi des râperies. Ce sont des annexes de grandes usines, dites sucreries centrales. Dans ces annexes, on se contente de laver les racines et d'en extraire le jus qui est envoyé à l'usine centrale par des canalisations souterraines. Ce système permet une alimentation facile en betteraves, et il a l'avantage de laisser les pulpes au centre de la culture ; mais il présente certains inconvénients : frais de premier établissement élevés, nécessité de conduites souterraines coûteuses, frais de main-d'œuvre et de surveillance élevés, etc... Ces inconvénients sont plus ou moins compensés par un travail journalier plus grand de l'usine centrale, d'où diminution des frais généraux ; mais, malgré cela, il est préférable de faire un travail journalier important dans une seule usine sans râperies indépendantes, à la condition que son importance comme matériel ne dépasse pas la production de la betterave dans le rayon normal d'une surveillance facile.

Les feuilles restées sur les champs sont souvent données comme

nourriture aux animaux, mais leur valeur nutritive est faible et la forte dose d'acide oxalique qu'elles renferment les rend parfois nuisibles. Souvent on les laisse sur les champs où elles restituent au sol les matières minérales qu'elles ont enlevées à la terre.

La betterave arrivant à l'usine est encore souillée de terre. On pèse les chariots et on prend immédiatement un échantillon (généralement 25 kgs) de racines pour déterminer la réfaction qu'il y a lieu de faire pour la terre et les collets, ce qu'on appelle la tare. Les betteraves nettoyées ayant servi à faire la tare sont utilisées pour établir la densité du jus ou la richesse (voir plus haut).

Conservation de la betterave

Comme nous l'avons vu, la betterave cultivée est une plante bisannuelle. Au moment où on l'arrache, elle n'a pas encore terminé le cycle de son évolution ; elle se trouve dans une période d'arrêt, la saison froide étant défavorable à la montée à graines. Pour conserver cette plante après l'avoir arrachée, il faut maintenir cette vie latente. Pour cela, quand on ne peut pas la travailler immédiatement, on la met en silos.

Quelques conditions sont nécessaires à la conservation de la betterave dans les silos. Il faut : 1° *de l'air*. La betterave étant vivante, continue de respirer ; elle absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique ; il faut donc, pour conserver la betterave, une atmosphère suffisamment renouvelée. Le manque d'air seul peut produire l'étouffement de la betterave, ce qui occasionne une altération profonde. Cet accident peut résulter d'une trop grande masse de terre adhérente à la betterave. Sous l'influence de pluies, cette terre est entraînée et vient boucher tous les interstices donnant accès à l'air (1).

2° *Une certaine température*. — Une température trop basse produit la gelée, celle-ci ne fait pas perdre à la betterave beaucoup de sa valeur industrielle quand on la travaille immédiatement. Mais si le dégel arrive, la température douce favorise la putréfaction de la racine tuée par la gelée. Un autre défaut des betteraves gelées est de ne pouvoir être que très difficilement débarrassées de la terre qui y adhère. Ce fait présente l'inconvénient de mettre rapidement les couteaux des coupe-racines hors d'usage. En outre, la betterave se coupe mal, les cossettes se cassent, se répartissent mal dans les diffuseurs, y laissent des vides et se prennent en masses compactes dont l'épuisement se fait très mal.

(1) Pendant cette anaérobiose le sucre se décompose en alcool et acide carbonique.

Mode de conservation des betteraves. — On peut conserver les betteraves :

1° En gros tas. — Sur le terrain, on creuse des rigoles transversales aux tas avec extrémité dépassant légèrement pour laisser des ouvertures libres par où l'air pourra circuler ; elles sont espacées de deux mètres et recouvertes de branchages ou de fascines. On recouvre les tas de feuilles, de terre battue ou de bâches goudronnées. Les rigoles peuvent être remplacées par de petits canaux formés par des planches. Si les racines doivent être rapidement enlevées, on se contente de les mettre en tas à section triangulaire de un mètre de hauteur, recouverts de feuilles.

Si le terrain est facilement perméable, on peut le creuser sur 0 m. 30 de profondeur, mettre les betteraves en un tas ayant la forme a b c d e f et le flanquer de deux fossés étroits, profonds de 50 cent. Ce drainage enlève toute l'eau. Si le terrain n'est pas poreux, le drainage doit être placé sous le tas.

Le mode de conservation le plus coûteux est celui des *silos*. Au fond de la fosse, on creuse une rigole que l'on remplit de *fascines* pour le passage de l'air. On arrondit le dessus du tas en dos d'âne et on recouvre de terre et d'herbages. Des rigoles latérales servent à l'écoulement des eaux de pluie. Le meilleur système de *silos* est celui qui est abrité par des hangars. Dans certaines régions il existe des *hectares* de hangars sous lesquels la betterave se conserve particulièrement bien.

Quel que soit le système employé, il faut supprimer le plus possible la circulation de l'air en cas de gelée.

Préparation mécanique de la betterave. — *Transport des betteraves au lavoir*

Les racines emmagasinées dans un ou plusieurs silos doivent être amenées à l'atelier de lavage. On peut employer pour ce transport différents moyens : 1° *les brouettes*. — Ce système ne convient que pour les petites usines quand on prend les betteraves près de l'atelier de lavage ; leur emploi devient onéreux quand on dépasse 30 mètres. 2° *les wagonnets*. Ce système a l'inconvénient d'exiger beaucoup de matériel coûteux d'achat et d'entretien. Néanmoins, il peut rendre des services quand l'atelier de lavage est plus élevé que le dépôt de betteraves, ou encore quand, en terrain plat, les silos sont assez éloignés. La voie doit avoir au moins 60 cent. et les rails peser 9 kgs par mètre pour éviter les déraillements.

Transporteur hydraulique (Rüben Schwemme ; Hydraulic Carrier).

Ce système, élégant, simple et pratique, a été inventé en Autriche par Riedinger et importé en France par A. Vivien, chimiste à Saint-

Quentin. C'est un caniveau en pente dans lequel un courant d'eau entraîne les betteraves qu'on y fait tomber (fig. 47 et 48).

Actuellement, les parois latérales au lieu d'être verticales sont un peu inclinées et le fond a la forme d'une chaînette ou d'une anse de panier ; cette forme exige un peu plus d'eau, mais elle abîme moins les betteraves. On adopte une pente de 13 m/m au minimum par mètre, en ligne droite, et 20 m/m dans les courbes. Il n'y a pas d'inconvénient à augmenter les pentes de 50 p. 100 quand on le peut.



Fig. 47. — Caniveau,

Autrefois, on adoptait une pente plus grande dans les courbes, mais cela occasionne dans le courant d'eau des dépressions qui produisent des arrêts de betteraves. Le rayon des courbes est de six mètres.

Ce système contribue au lavage et réduit beaucoup la main-d'œuvre. En moyenne, on compte deux hommes par 300 à 400 tonnes de betteraves par jour, quand les betteraves n'ont pas plus de 25 p. 100 de terre.

La quantité de betteraves pouvant être conduite au lavage par un caniveau de transporteur hydraulique, varie beaucoup suivant les soins apportés à y déverser les betteraves. Le transporteur forme, en effet, un cours d'eau dans lequel le liquide doit avoir de 6 à 15 cent. de hauteur, et une vitesse de 1 m. 50 à 2 mètres.

En prenant un caniveau de 0 m. 35 avec 0 m. 10 d'eau et une vitesse de 1 m. 50, nous trouverons un débit de :

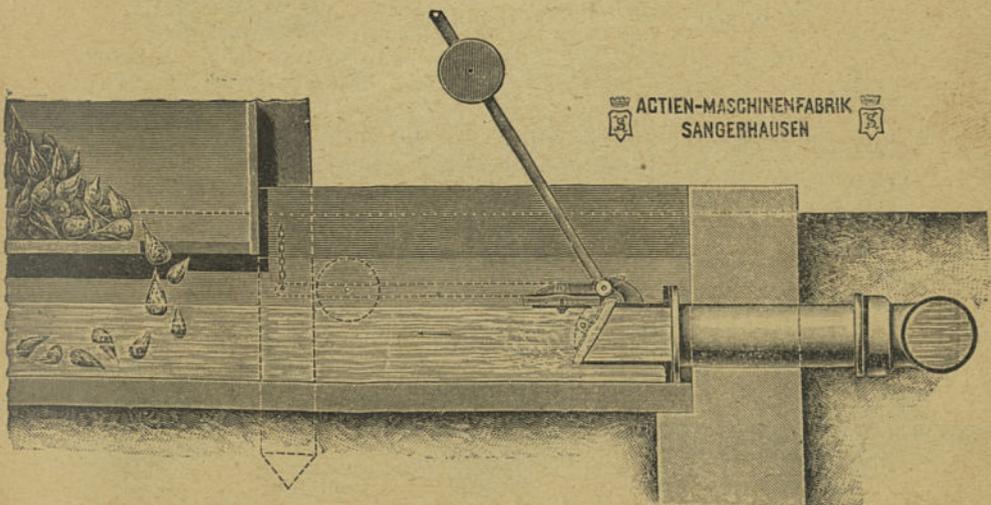


Fig. 48. — Sommet des transporteurs hydrauliques

0 m. 35 × 0 m. 10 × 1 m. 50 = 0 mc.,0525, soit 52 lit. 1/2 par seconde.

Les caniveaux ont ordinairement de 350 m/m de largeur en bas et 400 en haut, et une hauteur de 450 dans les usines de 5 à 600 tonnes. Pour les très grandes usines, on donne 420 en bas et 500 en haut, avec une hauteur de 500 m/m.

La disposition du transporteur varie suivant les endroits à traverser. On distingue le caniveau en tranchée et le caniveau à plat. Dans le premier système, le caniveau est situé au fond d'une tranchée dont il constitue le thalweg ; il est recouvert par des claies ou clayons sur lesquelles reposent les betteraves et que l'on enlève à mesure que l'on veut déverser celles-ci dans le caniveau. Les tranchées (fig. 49) sont donc de véritables silos. Les parements de la tran-

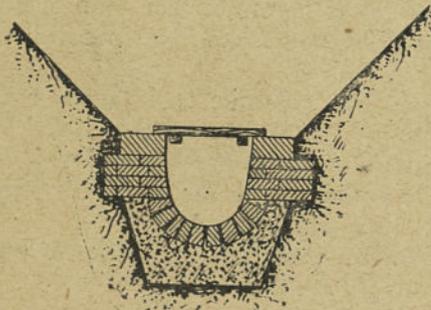


Fig. 49. — Caniveau en tranchée.

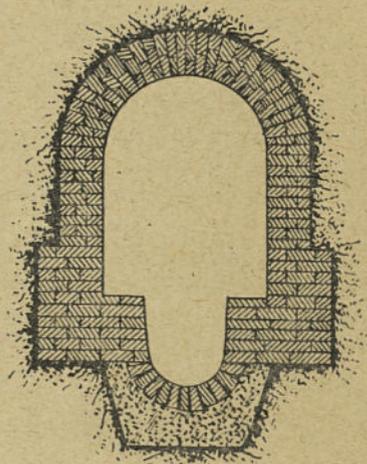


Fig. 51. — Caniveau avec voûte.

chée sont faits soit en terre battue, soit, de préférence, en briques maçonnées au ciment à prise lente. Le caniveau en tranchée facilite beaucoup le chargement des betteraves en réduisant la main-d'œuvre, mais on est obligé de disposer la cour en lignes parallèles qui occupent beaucoup de place. Entre deux tranchées sont ménagés des chemins pour les chariots ou pour les wagons (fig. 50).



Fig. 50. — Cour avec caniveau en tranchée

Dans le caniveau à plat, on peut employer : 1° un aqueduc au fond duquel se trouve le transporteur. Ce système est d'un nettoyage facile mais il présente le grave inconvénient de coûter très cher car *il nécessite la construction d'une voûte* (fig. 51). 2° On adopte généralement un caniveau à parois latérales très élevées, arrivant à fleur du sol et qu'on recouvre de madriers. Cela coûte moins cher et le nettoyage est aussi facile. Avec le caniveau à plat (fig. 52), la surface de la cour restant uniforme, les chariots et les voies ferrées peuvent suivre toutes les directions. L'inconvénient c'est qu'il faut un peu plus de personnel. Il faut 2 hommes de jour et deux de nuit pour 450 tonnes.

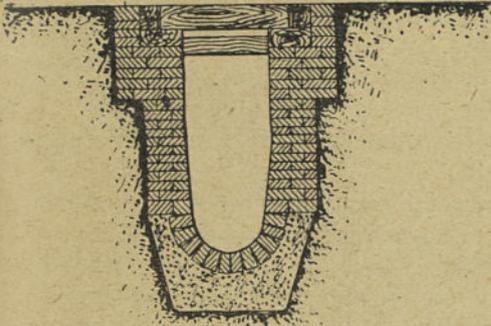


Fig. 52. — Caniveau à plat.

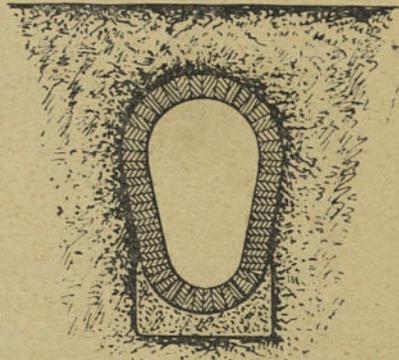


Fig. 53. — Caniveau terminus.

Dans quelques usines ayant l'eau à volonté, on a supprimé les claies ; le seul courant d'eau entraîne les betteraves, ce qui supprime toute main-d'œuvre.

Les caniveaux sont généralement en briques maçonnées au mortier ordinaire ou au ciment ; on recouvre la maçonnerie d'une chape lissée en ciment de 15 m/m. On les fait aussi en ciment armé. Dans les caniveaux en tranchée on emploie dans un but d'économie les caniveaux en ciment comprimé ou en béton de scories. Enfin certaines parties se font aussi en fonte, en tôle ou en bois (fig. 54). Aux Etats-Unis, la plupart des caniveaux (flumes) sont en bois et quelquefois ce sont de simples fossés creusés dans la terre.



Fig. 54.

Le transporteur est parfois un simple caniveau mobile qu'on déplace au-dessus du sol, en le rapprochant peu à peu des tas à mesure qu'ils diminuent, et déversant son eau et ses betteraves dans un caniveau fixé au caniveau terminus qui les emmène à l'atelier de lavage.

Élévation des betteraves au laveur

Les betteraves qui arrivent à l'usine étant chargées de 15 à 25 pour

100 de terre, on doit chercher à les élever aussi peu que possible avant de les laver ; l'élévation de cette terre est un travail inutile qui use fortement les appareils. On peut distinguer deux cas :

1^{er} cas. — On ne se sert pas du transporteur hydraulique.

Pour élever les betteraves sales au laveur, on emploie un élévateur à palettes, une chaîne à godets, ou, le plus souvent, une hélice. Dans ce cas on vide les brouettes ou les wagonnets dans une trémie creusée dans le sol. On évite le plus possible cette élévation en mettant le laveur aussi bas que cela peut se faire. Dans la figure 56 on voit un laveur placé à une certaine hauteur au-dessus du sol. Cette disposition se rencontrait souvent autrefois parce que les betteraves sortant du laveur tombaient directement dans l'appareil diviseur (râpe) ; mais elle est évidemment mauvaise.

2^e cas. — On emploie le transporteur hydraulique.

A la sortie du caniveau terminus, trois cas peuvent se présenter :

A. — On sépare tout de suite l'eau des betteraves, celles-ci seules sont élevées au laveur.

L'eau est séparée par un cylindre à fond perforé muni d'un racloir à bras horizontaux (plate-forme) par une auge à fond perforé et à bras verticaux (épierreur), par une hélice élévatrice simple avec une citerne placée en face de cette hélice, ou par une roue élévatrice simple.

B. — On élève en même temps l'eau et les betteraves jusqu'au laveur. On emploie dans ce cas une hélice ou l'air comprimé (émulseur).

C. — On élève en même temps l'eau et les betteraves ; l'eau est séparée à une certaine hauteur suffisante pour permettre son écoulement vers les bassins de décantation. On emploie alors l'hélice élévatrice mixte ou la roue élévatrice mixte qui laissent échapper l'eau à une hauteur moindre que celle du laveur.

Plate-forme ou Séparateur Knauer (Wasser abscheider-Water separator). — Il consiste en un récipient cylindrique B (fig. 55) dans

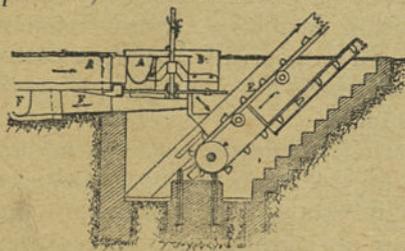


Fig. 55. — Plate-forme.

lequel sont amenées les betteraves venant du transporteur A. Le fond du récipient est une tôle perforée par laquelle l'eau sale s'écoule dans le canal F, tandis que les betteraves, poussées par un entraîneur actionné par l'arbre C, tombent par l'ouverture O et sont entraînées par les godets de l'élévateur E qui les conduit au laveur. Cet appareil ne se rencontre plus que très rarement.

Élévateur à palettes (Schaufel Riemen, Band and paddle carrier). — Il se compose d'une courroie sans fin (250 à 400 m/m) en caoutchouc

ÉLÉVATEUR ÉPIERREUR A HÉLICES SYSTÈME CHARPENTIER DEGROUX B^{TE} S. G. D. G.

Faisant aussi fonction de LAVEUR

LÉGENDE

- a Bac recevant l'huile.
- b Hélice entraînant et élevant les betteraves et jusqu'aux moindres parcelles des racines.
- c Crapahouche avec ses organes travaillant en dehors des matières sales.
- d Tuyaü formant pluie et faisant subir un premier lavage aux betteraves.
- e Bras faisant fonctions d'épierreur.
- f Vidange.
- g Laveur.

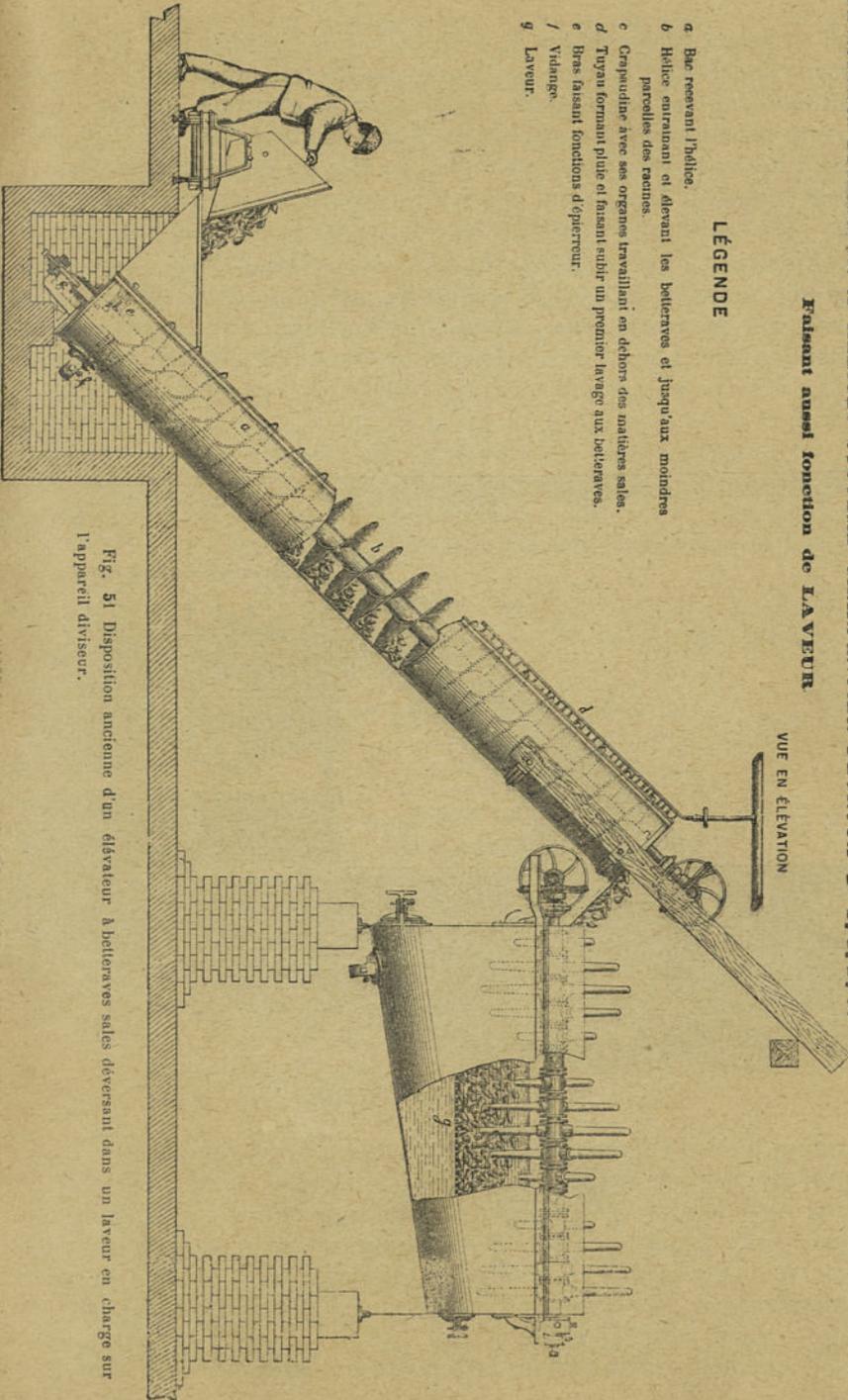


Fig. 51 Disposition ancienne d'un élévateur à betteraves sales déversant dans un laveur en charge sur l'appareil diviseur.

ou en balata garnie de tasseaux en bois. Ces tasseaux sont boulonnés sur la courroie et des contre-plaques en tôle reçoivent de l'autre côté les têtes fraisées des boulons. Cette courroie s'enroule sur deux tambours placés aux deux extrémités d'un châssis incliné à 45° environ sur l'horizon. Des galets en fonte, en tôle ou en bois supportent le brin montant. Les paliers inférieurs peuvent glisser dans des coulisses ; des vis de rappel y permettent de tendre la courroie (fig. 50).

Elévateur à hélice (Rüben-hubschnecke, Spiral lifter). — Cet appareil, analogue à la vis d'Archimède, se compose de spires en tôle fixées sur un arbre creux en fonte tournant dans une auge fixe également en tôle. L'arbre de l'hélice est commandé à sa partie supérieure

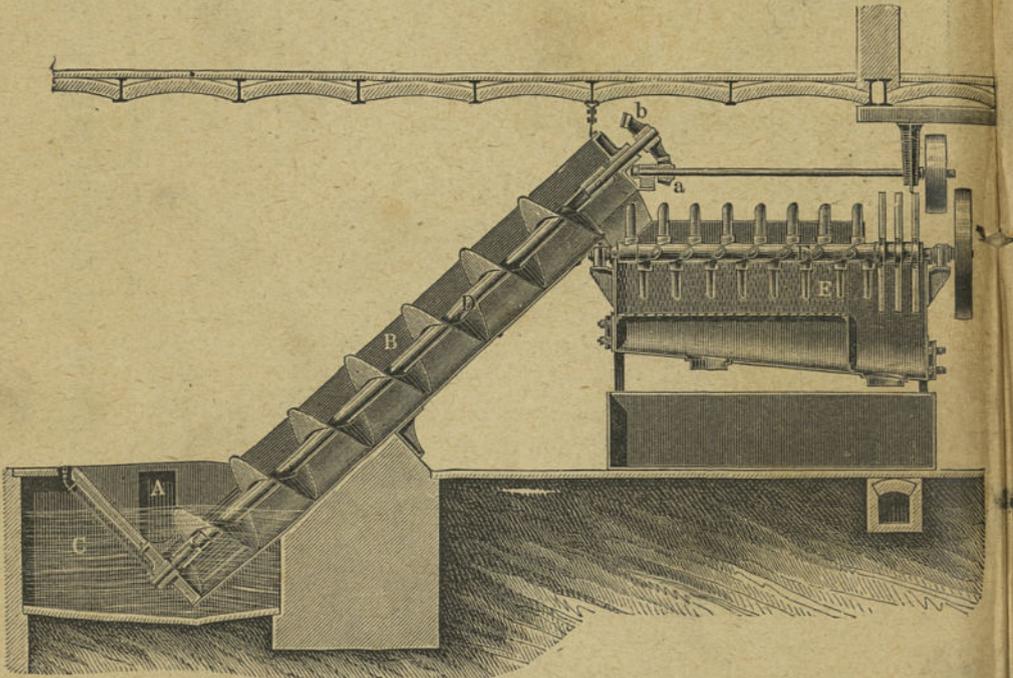


Fig. 57. — Helice élévatrice simple.

par un train d'engrenages et une poulie ; à sa partie inférieure il est supporté par une crapaudine placée à l'extérieur de la caisse en tôle. Une boîte à bourrage empêche les boues de passer par le fond de la caisse et de pénétrer dans cette crapaudine. On supprime quelquefois la crapaudine ; dans ce cas l'arbre est simplement guidé à sa partie inférieure par une douille ; à sa partie supérieure il est suspendu au moyen d'un collier (Voir fig. 57).

Dans l'hélice élévatrice les betteraves sont entraînées par le mouve-

ment de rotation ; elles s'accablent d'un côté de l'auge et retombent plus ou moins ; en outre les frottements y sont importants.

Il résulte de tout cela un faible rendement dynamique et une usure assez rapide qui nécessite des réparations fréquentes.

Quand on emploie le transporteur hydraulique et l'hélice, l'eau de transport est généralement séparée par une citerne ; quand cela n'est pas, toute la partie inférieure de la caisse en tôle est perforée pour laisser écouler l'eau. On a même perforé les spires inférieures, mais on était amené à cela parce qu'on exagérait la vitesse de l'hélice. Le perforage de l'auge donne également une usure assez rapide.

Pour l'éviter, on remplace cette partie perforée par une trémie à barreaux.

La partie inférieure de l'arbre est parfois munie de bras épierreurs qui élèvent les betteraves tout en laissant tomber au fond de la caisse en tôle les pierres et autres corps durs amenés par le transporteur.

Quand la hauteur d'élévation dépasse 6 à 8 mètres, il se produit un moment de flexion qui fait frotter l'hélice contre le fond de l'auge et détermine une usure rapide ; il faut alors mettre successivement deux ou trois hélices.

Capacité de production. — A la vitesse de 20 tours, une hélice travaillant 18 heures par jour peut élever 3000 kgs de betteraves par centimètre de diamètre. Ainsi :

Avec 70 cm.	le débit sera de	200.000 kgs.
— 120 cm.	— —	360.000 kgs.
— 150 cm.	— —	450.000 kgs.

Ces chiffres peuvent être augmentés des deux tiers en tournant à 30 tours, ou en marchant continuellement.

On munit parfois l'hélice d'une rampe qui lance de l'eau sur les betteraves pendant leur ascension (fig. 56).

Roue élévatrice simple (Rüben Hubrad-Beet lifting wheel). — Elle se compose d'un moyeu en acier coulé ou en fonte qui est calé sur un fort arbre horizontal et sur lequel s'assemblent des bras en fer plat, en fer en I ou en fer U. Le contour est formé de tôles perforées réunies aux bras par des cornières et des couvre-joints. Les aubes intérieures perforées forment avec le pourtour également perforé de la roue, des augets à claire-voie. Du côté de la transmission, la roue est munie d'un revêtement en tôle qui protège les organes mécaniques contre les betteraves et l'eau sale. La roue dentée qui reçoit la commande est fixée sur la tôle de revêtement. Une tôle de glissement oblige les betteraves à monter jusqu'à la partie supérieure de la roue pour être déversées dans la trémie allant au laveur (fig. 58).

Cette roue est placée dans une fosse perpendiculaire au caniveau terminus et dont le fond est plus bas que celui du transporteur. Les

betteraves arrivent par une nochère en fonte faisant suite au caniveau terminus. Sur cette nochère se trouve un registre qui étant baissé, arrête les betteraves mais laisse passer l'eau.

Les betteraves seules sont élevées et tombent dans la nochère inclinée allant au laveur ou à l'épierreur Loze ; les eaux boueuses passent au travers des aubes et du pourtour perforé et aboutissent à une citerne.

Cet appareil n'a pas d'organes en mouvement dans la partie baignée par l'eau du transporteur ; les paliers, seuls sujets à usure, sont tous à fleur du sol ; il est donc facile de les entretenir en état de graissage. La roue doit tourner lentement (vitesse de 5 mètres par minute

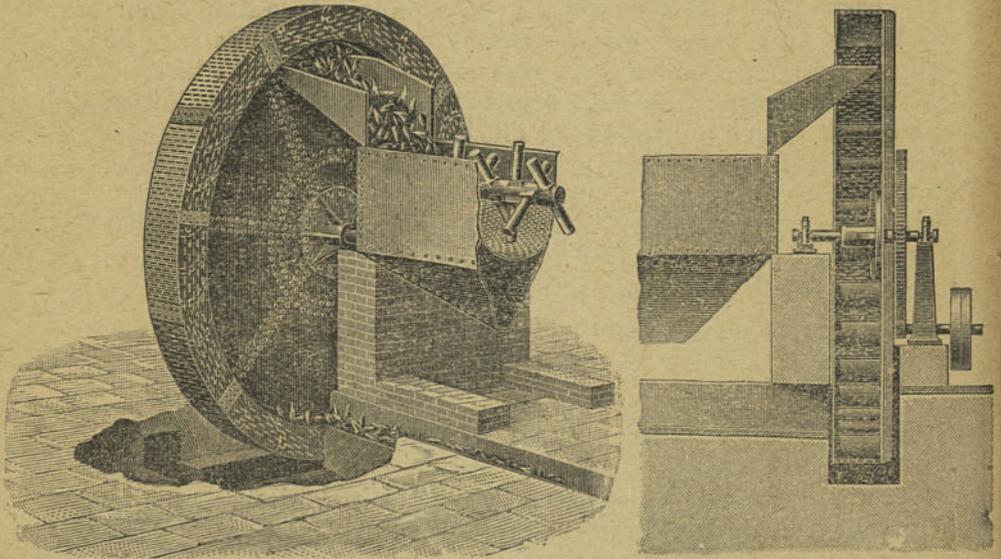


Fig. 58. — Roue élévatrice simple (Grevenbroïch).

au maximum) si non les betteraves arrivées à la partie supérieure resteraient appliquées contre la jante par la force d'inertie centrifuge et l'eau contenue dans les augets serait projetée de tous côtés.

Roue élévatrice mixte (Rüben und Wasser Hubrad-Beet and water lifting wheel). — Elle diffère de la roue simple en ce que les aubes sont pleines ainsi que le pourtour. Elle élève les betteraves dans le laveur ou l'élévateur et élève en même temps l'eau du transporteur jusqu'à une certaine hauteur permettant son écoulement vers les bassins de décantation ; la tôle de glissement est remplacée par une tôle perforée tt' derrière laquelle se trouve une seconde tôle pleine ; à la partie inférieure l'eau qui passe à travers la tôle tt' est recueillie dans une no-

chère N tandis que les betteraves entraînées par les godets le long de la tôle tt' montent jusqu'à la trémie T (fig. 59).

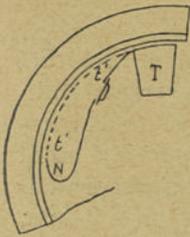


Fig. 59.

Cet appareil évite l'emploi des pompes centrifuges qui doivent toujours être placées à une certaine profondeur quand on fait usage de l'élevateur à hélice ou de la roue élévatrice simple.

L'élévation de l'eau du transporteur par la roue mixte présente un grave inconvénient dans le cas où il faut augmenter la longueur des caniveaux.

Il faut alors une plus grande charge pour alimenter les sommets des caniveaux et il faut donc remplacer la roue par une autre de plus grand diamètre ce qui est coûteux. Si au contraire on élève ces

eaux avec les pompes centrifuges, pour augmenter la hauteur de refoulement, il suffit d'augmenter leur vitesse.

Malgré les avantages de la roue, on préfère souvent, en France, l'hélice, qui se répand également maintenant en Allemagne. C'est un appareil rustique, l'usure y vient peu à peu et on peut y parer ; mais avec la roue, c'est la casse imprévue qui arrête tout et qui est terrible.

Hélice élévatrice mixte. — Au lieu de perforer le bas de l'auget de l'hélice, on peut reporter cette perforation à une certaine hauteur. On a alors à la partie inférieure une vis d'Archimède (fig. 60) mais on

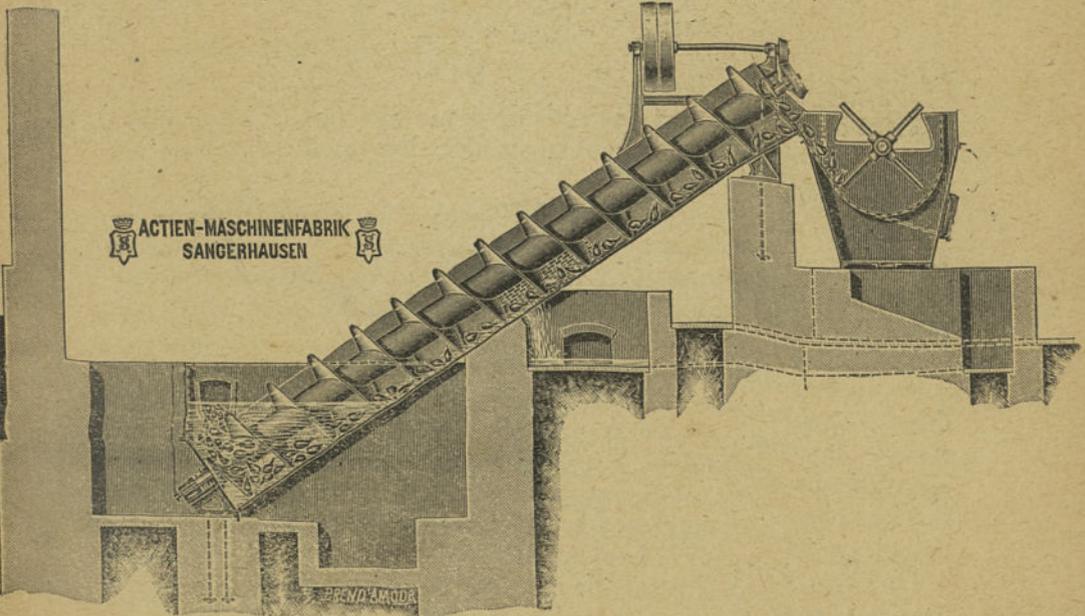


Fig 60. — Hélice élévatrice mixte.

est obligé de faire tourner l'appareil à une assez grande vitesse (35 tours par minute).

Enlèvement des eaux boueuses

Le grand volume d'eau employé pour le transporteur et la nature de ces eaux chargées de terre, sable, queues de betteraves, rendent difficile l'emploi des pompes à piston, qui ont un bon rendement dynamique mais qui nécessitent des visites fréquentes aux clapets et s'usent rapidement. Aussi emploie-t-on de préférence des appareils présentant moins de chances d'obstructions et permettant de gros débits, tels que la vis d'Archimède, la roue à godets, la pompe centrifuge.

Vis d'Archimède. — (Schlammwasser hubschnecke ; Dirty water spiral lifter). — Cet appareil, assez usité en Allemagne, est presque inusité en France. Le principal inconvénient qu'il présente est la vitesse exagérée à laquelle il faut le faire tourner.

Roue à godets (Schlammwasser zellen rad ; Dirty water bucket wheel)

Les godets sont fixés sur la jante d'une grande poulie en fonte. Cet appareil est simple et robuste, mais il déverse l'eau dans des caniveaux à ciel ouvert qui sont encombrants ; par suite on ne peut guère l'employer que lorsqu'il est placé près des bassins de décantation.

Le rendement dynamique est donné par la formule :

$$R_d = 0.70 \times \frac{H}{H+h} ;$$

h étant constant, il faut une roue de grand diamètre (8 à 10 mètres) pour avoir un bon rendement, mais alors l'appareil est trop encombrant et coûte très cher.

Pompe centrifuge. — (Kreisel Pumpe ; Centrifugal Pump). — La pompe centrifuge est souvent employée pour les eaux boueuses venant du transporteur et du laveur. Cette pompe est surtout économique lorsqu'il s'agit d'élever une grande quantité de liquide à une faible hauteur.

A vitesse constante, tandis que les pompes à piston donnent un débit constant à une hauteur variable, les pompes centrifuges fournissent un débit variable avec la plus légère variation de pression, c'est-à-dire à une pression *sensiblement* constante (une augmentation de vitesse de 5 à 6 % suffit pour augmenter considérablement le débit), ce qui, en général, correspond mieux aux besoins de la pratique.

On peut faire varier la hauteur de refoulement d'une pompe centrifuge en changeant sa vitesse de rotation (une augmentation de vitesse de 40 % est nécessaire pour doubler la pression).

On emploie souvent en sucrerie la commande électrique. Si c'est du courant continu, on modifiera par un rhéostat de démarrage le courant d'excitation. Mais si c'est un moteur triphasé alimenté par un réseau à fréquence constante, il n'est guère possible d'agir sur la vitesse. Comme les hauteurs sont généralement constantes en sucrerie, on emploie souvent le courant triphasé.

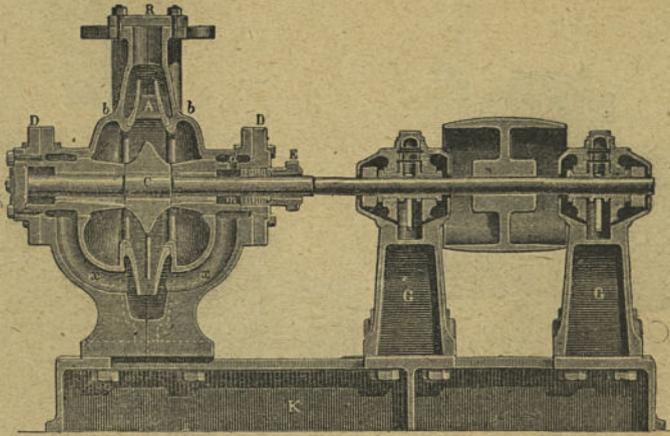


Fig. 64. -- Vue en coupe verticale par l'axe.

- A. Turbine ou roue à aubes tournant dans le corps de pompe B.
- B. Corps de pompe formé par la réunion des coquilles *b b'*.
- C. Arbre en acier sur lequel sont calées la turbine et la poulie.
- D. Boîte de fond et D' boîte à calfat garnies de bronze blanc à leurs parties frottantes. Ces parties non graissées reçoivent de l'eau sous pression, par les conduits *x x'* et les conduits *d d'* ; cette eau baigne l'arbre et empêche l'échauffement.
- E. Presse-étoupes.
- F. Poulie.
- GG. Paliers.
- K. Bâti sur lequel est montée la pompe.
- L.L. Bagues empêchant le mouvement latéral de l'arbre.

Les pompes centrifuges demandent peu de puissance quand elles débitent peu, d'où un faible couple de démarrage, ce qui est avantageux pour le cas du courant continu avec excitation en dérivation ou les courants triphasés. En outre, la pression s'y élève fort peu si on vient à former la conduite de refoulement.

Leur rendement dynamique est plus faible que celui des pompes à piston, mais avec la commande électrique le rendement de l'ensemble du groupe moteur et pompe est sensiblement le même dans les deux cas, par suite de la perte aux engrenages de réduction de vitesse entre la pompe à piston et son moteur.

Dans les pompes à eaux boueuses, la turbine est en acier coulé pour plus de solidité et les deux côtés sont dépourvus de joue pour éviter les

engorgements. L'organe propulseur n'est donc qu'une simple roue à palettes. Chaque coquille est garnie de plaques d'acier de même diamètre que la turbine et qui peuvent être facilement remplacées quand

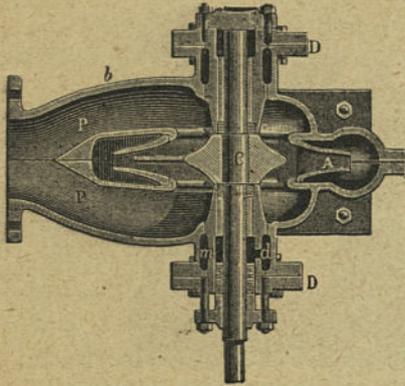


Fig. 62. -- Coupe horizontale du corps de pompe.

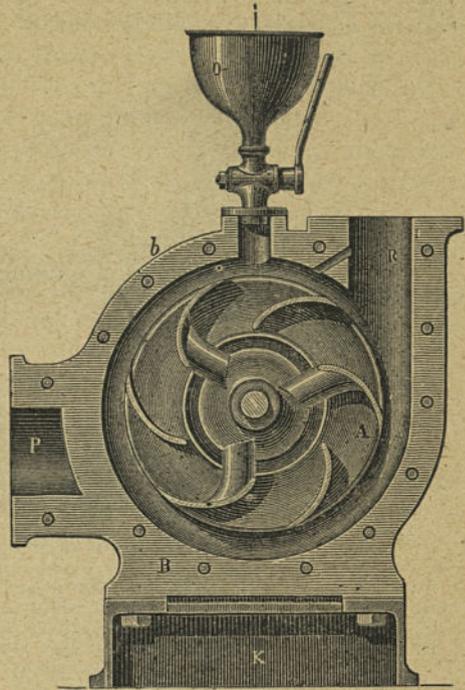


Fig. 63. -- Coupe transversale du corps de pompe.
P. Conduit d'aspiration. -- R. Tuyau de refoulement.

elles sont usées. Un regard permet la visite. Les boîtes à calfat reçoivent de l'eau claire sous une pression supérieure à celle de refoulement afin de produire un léger courant d'eau vers la turbine et d'écartier les boues.

Le rendement dynamique ne dépasse guère 45 %. Pour un travail de 150 tonnes de betteraves par 24 heures, on emploie une pompe de 150 m/m d'orifice. Pour T tonnes par jour au-delà de 150 tonnes, on

adopte des orifices de $100 + \frac{T}{3}$.

Emploi des pompes à piston. — On a cherché à revenir à ces pompes à cause de leur bon rendement dynamique. Pour pouvoir s'en servir sans inconvénients, on fait arriver les eaux boueuses sur une tôle perforée placée à la partie inférieure du canal H. Cette tôle

relient les impuretés grossières qui sont enlevées par l'élevateur K et rejetées au dehors. L'eau tamisée est agitée par un malaxeur à palettes J et reprise par une pompe à piston qui la refoule dans les bassins de décantation ou dans les champs (Fig. 64).

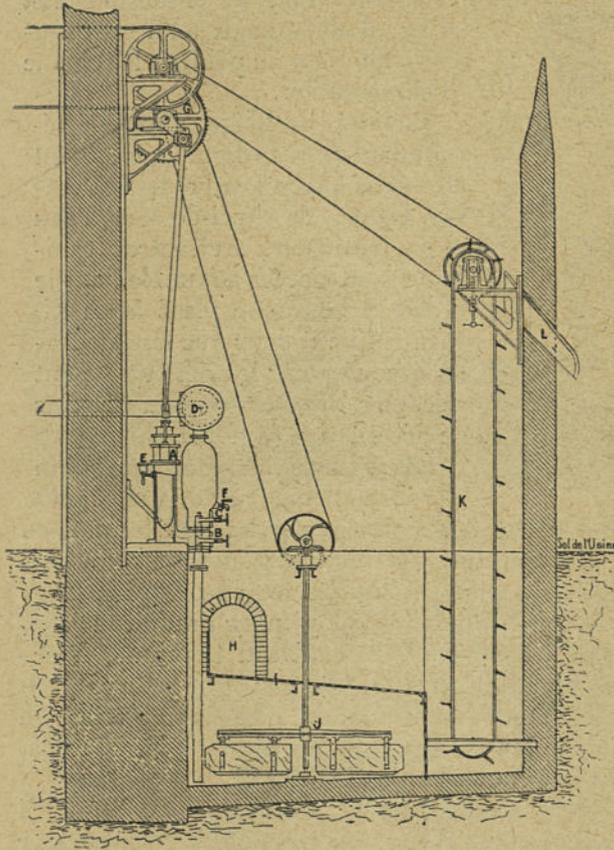


Fig. 61. — Tamisage des eaux boueuses.

Des regards B et C, fermant par un simple vis à baguette, permettent de visiter sans arrêt les chapelles des clapets.

On peut monter plusieurs de ces pompes sur le même bâti ; dans ce cas, on réunit leurs bouteilles à un même collecteur D. E est un robinet d'amorçage ; I, un robinet de circulation.

Il faut rejeter les pompes horizontales et prendre de préférence des pompes verticales à piston plongeur à extrémité arrondie (Fig. 65). Pour prévenir l'usure du calfat, on pratique dans le corps de

pompe une cannelure dans laquelle on injecte de l'eau propre. Les pompes de petit diamètre semblent être préférables aux grandes. Comme clapets, les plus avantageux sont ceux en caoutchouc. Les pistons doivent être immédiatement au-dessus des boulets et ceux-ci avoir un diamètre suffisant (au moins 100 à 150 mm.).

Emulseur à air comprimé. — Le principe de l'élévation des liquides par émulsion, d'abord appliqué en Pensylvanie en 1840 à l'extraction du pétrole, a été réinventé en France en 1864 par l'ingénieur Triger, l'inventeur de l'emploi de l'air comprimé au creusage des puits.

En 1883, Ch. Laurent inventa ses émulseurs. Dix ans après, l'in-

génieur américain Pohlé construisit des émulseurs sous le nom de pompe Mammouth, et donna la véritable explication du fonctionnement des éleveurs dits émulseurs : il se forme dans le tuyau des chapelets, successions de pistons d'eau et d'air, dont le poids total est beaucoup inférieur au poids de la colonne d'alimentation.

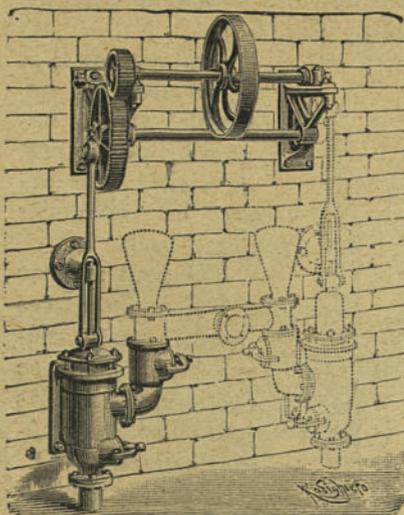


Fig. 65. — Pompe Gandillon.

Béduwé, de Liège, a installé récemment des émulseurs qui élèvent en même temps l'eau et les betteraves. Dans le dessin ci-dessous, l'eau et les betteraves, arrivant du caniveau, sont élevées ensemble dans le laveur débourbeur placé à un niveau suffisant pour que les eaux sales évacuées par le siphon puissent s'écouler directement aux bassins de décantation (fig. 66).

Le rendement dynamique d'un pareil système ne dépasse guère 25 p. 100 par suite des pertes occasionnées par les transformations successives d'énergie. Il exige une machine puissante pour comprimer l'air et l'installation d'un puisard étanche de grande profondeur.

Remarque : Quel que soit l'appareil employé pour produire l'écoulement artificiel de l'eau à l'extrémité du caniveau terminus, il importe que sa capacité productive soit suffisante pour que cette eau soit immédiatement enlevée. Toute accumulation d'eau occasionne un engorgement dans les caniveaux et par suite un dépôt de terre, sable, pierres, qui empêchent la circulation des betteraves.

Bassins de décantation (Absatz becken, Decanting vats). — Si l'usine est située près d'un cours d'eau, on alimente le transporteur avec cette eau, sinon, l'eau après avoir servi au transporteur, coule naturellement, par différence de niveau ou est refoulée par des pompes ou bien est enlevée par une roue dans des bassins de dépôts dits bassins de décantation où elles séjournent un certain temps, pendant lequel les terres se déposent. Dans le premier cas, les eaux décantées et claires sont reprises par une pompe à piston P pour les envoyer dans le réservoir R (fig. 67) et de là dans les caniveaux C. Dans le second cas (bassins de décantation placés plus haut, cas le plus fréquent) il faut prendre les eaux boueuses provenant du transporteur pour les envoyer aux bassins de décantation dont on surélève plus ou moins les banquettes. Après clarification, ces eaux arrivent par pente aux sommets des caniveaux C' (fig. 68).

Dans ce cas, il faut une pompe centrifuge à eaux boueuses ou pompe à draguer P' pouvant débiter un volume (en litres) égal à douze fois la quantité de betteraves à travailler (en kilos) ; en outre il faut

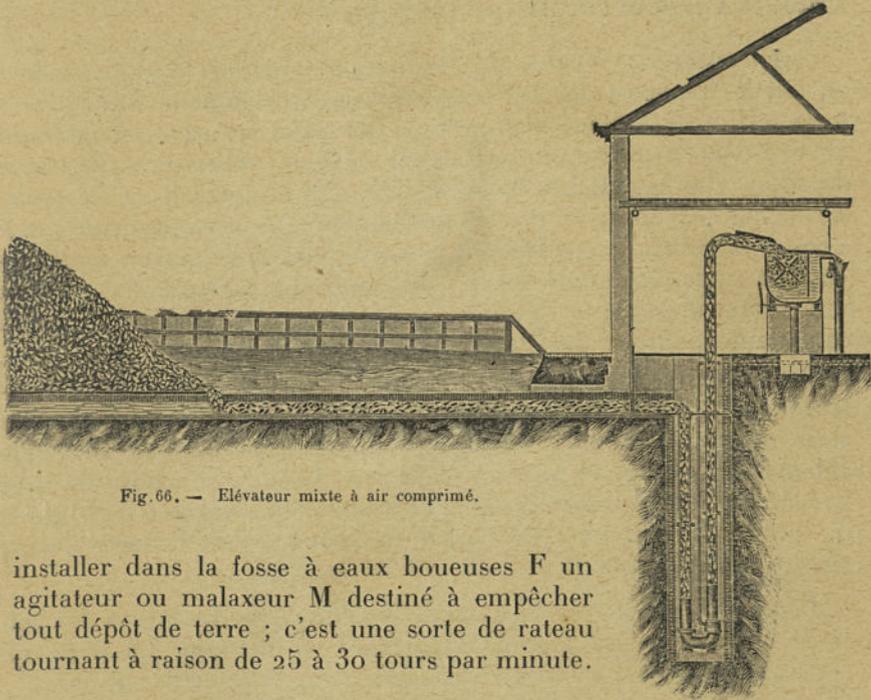


Fig. 66. — Elévateur mixte à air comprimé.

installer dans la fosse à eaux boueuses F un agitateur ou malaxeur M destiné à empêcher tout dépôt de terre ; c'est une sorte de rateau tournant à raison de 25 à 30 tours par minute.

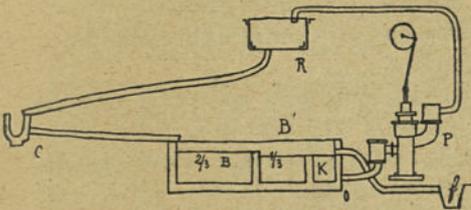


Fig. 67. -- Bassin plus bas.

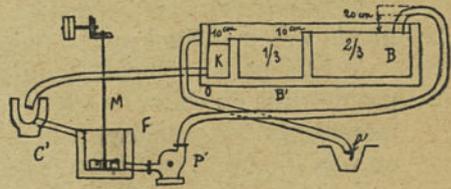


Fig. 68. -- Bassin plus haut.

Le plus souvent on fait deux bassins : le premier B dans lequel arrivent les eaux boueuses est ordinairement un peu plus profond et a un volume égal aux $\frac{2}{3}$ du volume total ; le second B', dans lequel les eaux du premier débordent, a un volume égal au $\frac{1}{3}$ du volume total. De ce second bassin, les eaux claires débordent dans une cuvette K d'une centaine d'hectolitres portant deux ouvertures latérales : l'une O dans le bas pour l'alimentation du transporteur, l'autre O'

vers la partie supérieure constitue le trop plein d'où l'excédent s'en va dans les fossés.

Si l'on emploie 4 bassins, on peut leur donner le même niveau ; le premier aura par exemple 1 mètre de profondeur de plus que les autres et le liquide circulera en sinusoïde.

Suppression des bassins de décantation. — Dans quelques usines on fait le transport des betteraves à l'eau sale dont la densité plus forte facilite le flottage des racines. Les eaux boueuses en arrivant au caniveau terminus sont refoulées dans un réservoir cylindrique de 100 à 150 hectol. Les boues se déposent au fond de ce réservoir, tandis que par un tuyau placé à une hauteur, l'eau en partie décantée s'en va alimenter les caniveaux. Quand l'ouvrier de service au transporteur s'aperçoit que l'eau est devenue trop boueuse il va ouvrir une vanne et la boue s'écoule dans les champs en une pâte assez consistante pour ne pas nécessiter de digues.

Dans d'autres fabriques on a remplacé ces bassins par des décanteurs en tôle analogues aux appareils employés pour l'épuration des eaux. Dans l'axe d'un vase à fond conique, portant un tuyau de vidange dans le bas et un trop-plein dans le haut, se trouve un tube par lequel l'eau boueuse est amenée à une petite distance du sommet du cône ; elle remonte lentement en abandonnant la terre qu'elle tenait en suspension et s'écoule par le trop-plein.

Lavage des betteraves (Waschen, Washing). — Le lavage des betteraves présente une grande importance en sucrerie. La terre qui reste adhérente aux racines occasionne les inconvénients suivants :

- 1° Elle abîme les appareils notamment les coupe-racines ;
- 2° Elle se retrouve en grande partie dans les pulpes dont elle diminue la valeur intrinsèque et marchande ;
- 3° Elle est un véhicule de microorganismes dont les spores ne sont pas détruits en cours de travail et qui plus tard occasionnent des fermentations très nuisibles à la diffusion et dans la cuite. Pour obtenir un bon lavage, il faut enlever non seulement toute la terre adhérente, mais encore les radicelles qui viendraient ensuite bourrer les couteaux des coupes-racines, puis il faut rincer à fond après lavage.

Pour remplir les deux premières conditions, il faut que les betteraves soient énergiquement frottées les unes contre les autres plutôt que contre un corps dur qui les abîmerait et qu'elles soient en présence d'une grande quantité d'eau. Pour obtenir ce résultat, il faut un laveur assez long (5 à 10 mètres) et ayant des dimensions convenables afin que toutes les betteraves qui passent dans l'appareil soient bien en contact avec l'eau.

Dans un laveur trop petit une partie des betteraves est noyée mais

l'autre chemine par-dessus sans baigner un seul instant. Par contre, dans un laveur trop grand, toutes les racines nagent bien dans l'eau, mais on n'obtient pas le frottement énergique qui doit détacher la terre parfois très adhérente. Les laveurs longs et étroits exigent plus de puissance motrice que les laveurs courts et de grand diamètre. Mais on ne doit pas tomber dans l'excès contraire, car les bras longs abîment plus de betteraves que les bras courts.

Laveur à betteraves (Rüben Wasche, Beet Washer). — Autrefois on employait, surtout en Allemagne le laveur à tambour (Trommelwasche) ; c'était un tambour à claire-voie porté par un arbre et tournant dans une auge en tôle remplie d'eau. Actuellement on emploie partout le laveur à bras (Quirlwasche).

Laveur à bras. — Il se compose d'une auge en tôle dans laquelle tourne un arbre horizontal armé de bras généralement disposés en hélice. Les betteraves arrivant à une extrémité sont poussées par les bras de l'hélice vers l'extrémité opposée (côté de l'épierreur), tandis que l'eau arrivant dans l'épierreur E (fig. 51), chemine en sens inverse et s'écoule du côté de l'arrivée des betteraves sales par un siphon qui maintient le niveau constant. L'arbre est supporté par deux paliers. Une tôle perforée g (fig. 49), qui règne au-dessus du fond incliné du laveur, laisse passer les boues et les empêche d'être remises en suspensions par le mouvement des bras.

Pour avoir une meilleure méthodicité du lavage on divise souvent le laveur en plusieurs compartiments et on donne au fond de ces compartiments la forme de pyramides renversées dont les sommets sont munis de portes ou de tampons H. On peut nettoyer un tel laveur pendant la marche, ce qui évite les arrêts dans le travail (fig. 69).

L'arbre horizontal est en fer rond ou, de préférence, carré ; les bras sont en fer ou plus souvent en bois d'orme. Sur l'arbre en fer sont posés des colliers en fonte présentant une alvéole dans laquelle on enchasse le bras en bois. Souvent ces colliers sont réunis en plusieurs groupes constituant des manchons à griffes.

En cas d'usure ou de casse, il n'y a qu'à remplacer le manchon.

Au lieu de mettre les bras en hélice, on se contente parfois de boulonner à l'extrémité des bras, des cales de 20×15 .

Dans le laveur d'Hennezel, les manchons portent sur le pourtour des 2 faces, des crans dont les saillies de l'un rentrent dans les creux du manchon voisin ; tous ces manchons à griffes serrés l'un contre l'autre constituent un tout rigide. Il suffit que le dernier manchon porte une vis de serrage pour fixer en place tous les bras dans la position qu'on a donnée.

Quand on n'emploie pas le transporteur hydraulique, on peut éviter l'emploi des élévateurs à betteraves sales en divisant le lavage en 2 stades. On met au niveau du sol un premier laveur dit débourbeur

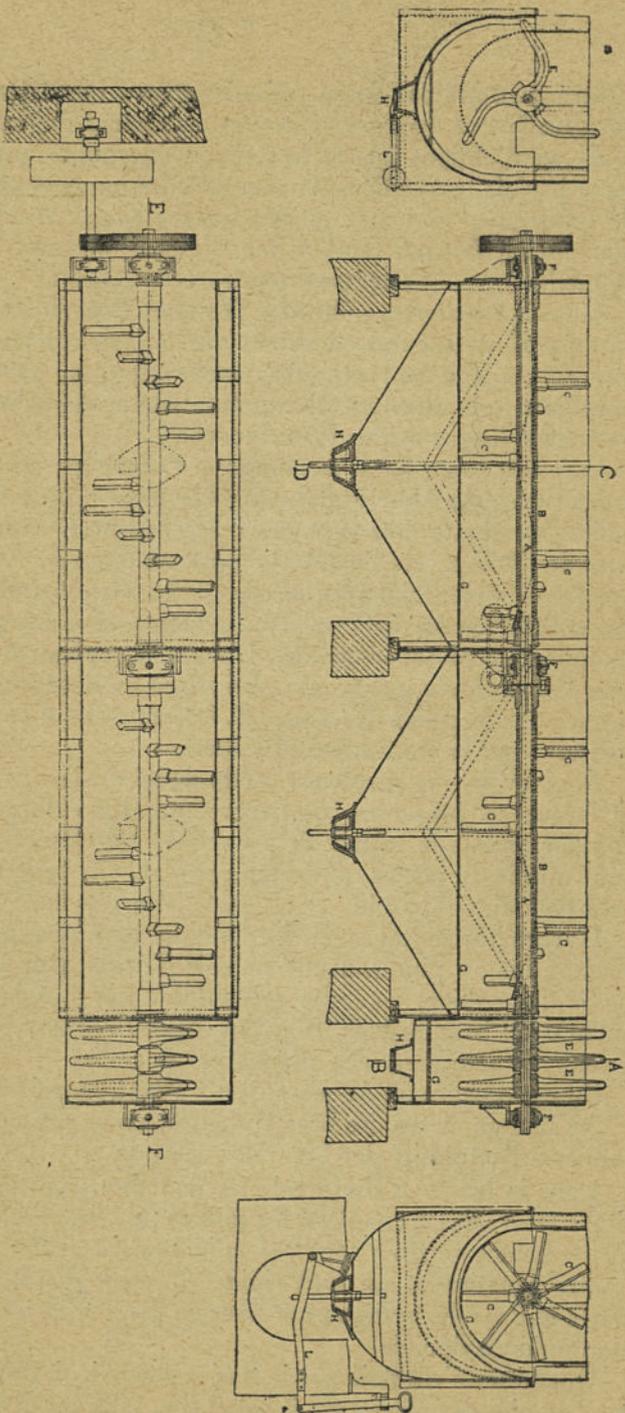


Fig. 69. -- Laveur à compartiments (système Wauquier, Elle). -- A droite, coupe CD ; à gauche, coupe AB par l'épierreur et la poche à cailloux.

AA. 2 arbres pleins en fer sur lesquels sont calés 2 arbres creux en fonte BB. Ces derniers portent des alvéoles dans lesquels sont fixés des bras en bois d'orme C disposés en hélice.

Les 2 arbres pleins sont réunis par des manchons en fonte, l'un des 2 manchons étant venu de fonte avec l'un des arbres creux et l'autre tournant dans un palier supportant l'assemblage des arbres

en son milieu. Cette disposition permet de n'avoir à remplacer que ce demi-manchon en cas d'usure.

- E. Bras épierreurs.
- FF. Paliers.
- G. Tôle perforée.
- H. Tampon.
- L. Leviers pour la manœuvre des tampons.

dans lequel les betteraves sont jetées directement ou dans lequel elles arrivent par un élévateur très court. Après ce débourbage les racines sont élevées par un élévateur à hélice dans le laveur rinceur. L'eau du laveur rinceur est employée dans le débourbeur où elle tombe du laveur.

En réalité cette disposition devrait toujours être employée, même avec le transporteur hydraulique. Deux laveurs de 4 à 5 m. suffisent alors. On a de l'eau peu sale dans le supérieur et de l'eau très sale chargée de sable et de terre qui font l'effet d'une brosse dans le laveur inférieur.

Les pas de l'hélice formée par les bras doit être assez petit pour ne pas propulser trop rapidement les racines d'une extrémité à l'autre du laveur. Il est bon que ce pas soit rompu plusieurs fois pour ralentir la marche de la betterave. Dans certains laveurs on supprime la disposition en hélice ; ce sont alors les betteraves arrivant dans le laveur qui poussent celles qui s'y trouvent déjà.

On dispose quelquefois dans le caisson épierreur une grille inclinée composée de barreaux en fer rond. Les détritux et petits cailloux passent à travers la grille et sont évacués par une porte inférieure à contre-poids tandis que les grosses pierres sont retirées par une porte latérale.

En France, on maintient le niveau de l'eau plus bas que l'axe de l'arbre à bras ; il en résulte que les betteraves sont toutes du même côté ; les bras les soulèvent hors de l'eau pour les y laisser retomber. En Allemagne et en Autriche on trouve des laveurs où l'eau est maintenue au-dessus de l'arbre qui traverse à chaque extrémité une boîte à calfat. De plus, le laveur est divisé par des cloisons au-dessus desquelles les betteraves sont jetées par des roues à panières ou à pelles. Les betteraves nagent par-dessus cet arbre pour retomber de l'autre côté et être reprises à nouveau. Il semble qu'elles soient ainsi mieux en contact avec l'eau que dans le laveur français, qu'elles soient mieux frottées et que le lavage soit plus méthodique.

Le laveur allemand ne lève pas les betteraves hors de l'eau, mais il les fait passer d'un compartiment à l'autre, ce qui fait que la dépense de travail et à peu près la même.

Pour les fabriques de 800 tonnes et plus, on met 2 laveurs parallèles ou bien on emploie le nouveau laveur à double arbre de Maguin.

Hydro-épierreur Loze

C'est un réservoir divisé en deux compartiments A.B. par une cloison occupant les 2/3 de la hauteur et présentant une ouverture C dans laquelle se meut une hélice tournant à grande vitesse autour d'un axe et provoquant un violent courant d'eau de droite à gauche.

Les betteraves arrivant en A tombent sur une grille D et sont entraînées par le courant d'eau sur la grille E où elles sont reprises par des bras F fixés sur un arbre en fonte GG et déversées dans la trémie de l'éleveur.

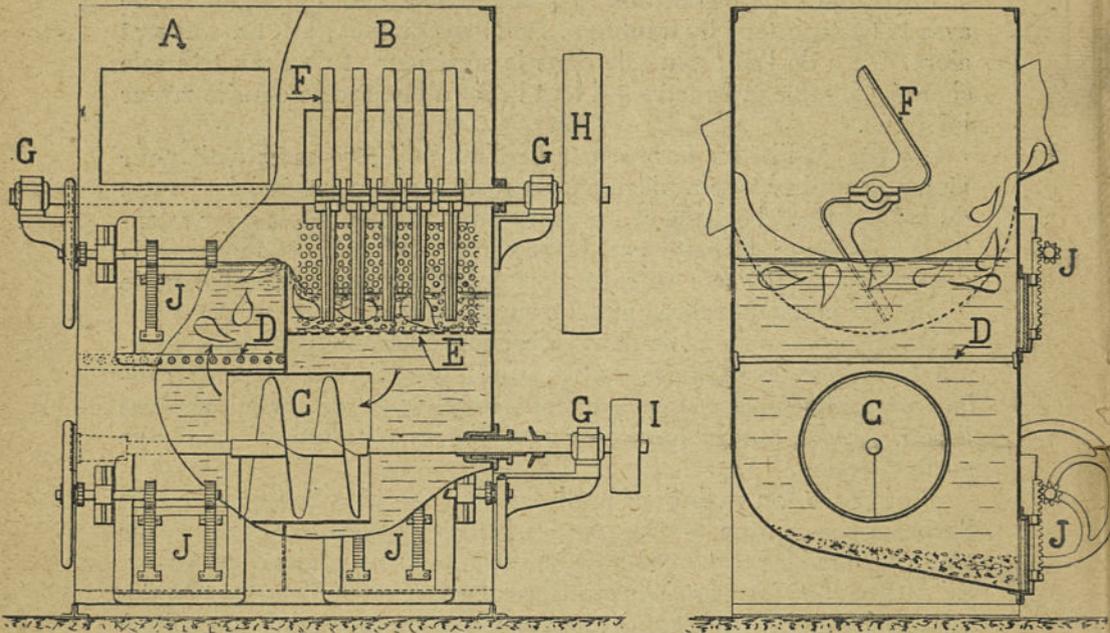


Fig. 70. -- Hydro-épierreur Loze (construction E. Moret).

Laveur hydro-épierreur Maguin

Quand l'atelier de lavage est petit, la maison Maguin incorpore l'épierreur Loze au laveur. Les betteraves tombent sur une grille, sont entraînées dans le 1^{er} compartiment par le courant d'eau puis dans le 2^e compartiment par les paniers, et sortent finalement par l'échancrure de l'épierreur. L'eau propre entre par l'épierreur et sort par un siphon (fig. 71).

La maison Maguin a combiné avec l'épierreur Loze un laveur-épierreur à 2 arbres à bras. Le mouvement en sens contraire de ces arbres maintient la masse des betteraves dans le milieu même de l'auge au lieu de les jeter contre l'une ou l'autre des parois comme cela a lieu dans les laveurs à un seul arbre. Il en résulte que les racines prennent un mouvement de va-et-vient sous l'impulsion des bras tournant en sens contraire et que ces bras divisent les amas de betteraves en produisant un lavage énergique. Ce laveur permet de tenir très bas le

niveau de l'eau dans l'auge et par suite d'obtenir un frottement éner-
gique des racines les unes contre les autres et un débouillage énergi-

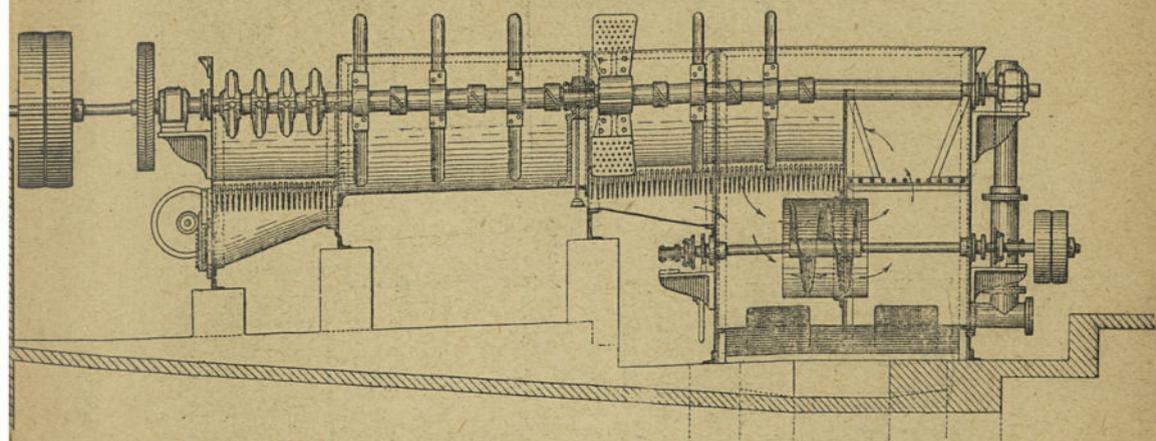


Fig. 71. -- Laveur hydro-épierreur Maguin.

que. Les betteraves n'étant pas poussées contre l'une des parois de l'auge sont moins brisées que dans les laveurs à un seul arbre (fig. 72).

Capacité productive des laveurs

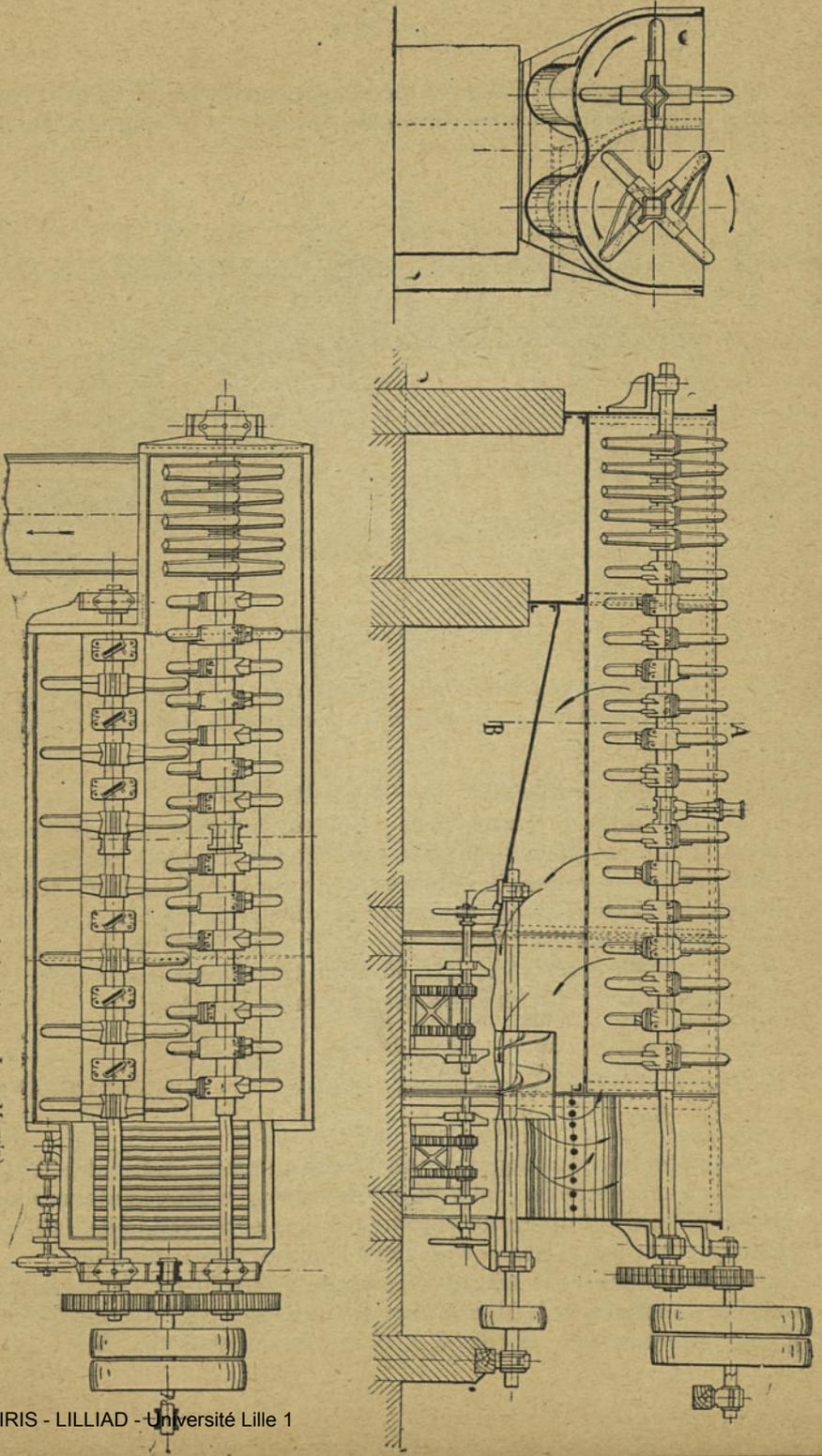
Les difficultés du lavage variant suivant la forme de la betterave, la nature du terrain plus ou moins argileux et d'autres circonstances, il est difficile de donner des chiffres précis sur la puissance des laveurs d'après leurs dimensions. Un laveur de 1 mètre de largeur et de 6 mètres de longueur avec bras espacés de 33 cent. suffit pour un lavage de 150.000 kilos par 24 heures. Pour un travail plus grand, on prend comme largeur 1 m. 20 et on prend comme longueur :

$$L = 1^m 20 + \frac{T}{30} \text{ soit pour } 250 \text{ tonnes } 1^m 20 + \frac{250}{30} = 1^m 20 + 8^m 3 = 9^m 50$$

Pour 800 à 1.000 tonnes par 24 heures on prend un laveur débouilleur de 9 mètres de long et 1 m. 50 de large, à vidange automatique, vitesse 25 tours et un laveur rinceur placé en surélévation de 5 mètres de long, 1 m. 50 de large à vidange à la main, vitesse 25 tours.

Comme dépense de travail on compte 2 chx. 5 + 1/2 cheval par unité de longueur utile. Un laveur de 6 m. 50 avec 6 mètres de longueur utile prendra : 2 chx. 5 + 0 chl. 5 × 6 = 5 chx. 5.

Fig. 72. - Laveur à double arbre avec hydro-éjecteur Loze (Mauguin).



Ces chiffres n'ont rien d'absolu ; le débit d'un laveur est fonction de la disposition des bras et de la vitesse de rotation. Si les bras sont rapprochés et disposés de façon à constituer un seul pas d'hélice sur toute la longueur, les betteraves vont de l'entrée à la sortie d'un seul tour.

On comprend dès lors que l'écartement et la disposition des bras permettent de faire varier à l'infini le débit. Il en est de même de la vitesse de rotation.

On doit s'assurer que toutes les betteraves restent sensiblement le même temps dans le laveur et un temps maximum de 5 minutes. Pour faire cette détermination, on met en une seule fois dans le laveur, cent betteraves rouges et on note le temps que chacune d'elles met à sortir.

On modifie la position des bras suivant le résultat obtenu et on remédie aux endroits où les betteraves séjournent et se gorgent d'eau inutilement.

On peut calculer à peu près le volume d'un laveur par la formule $V = \frac{\alpha \times t}{P}$, dans laquelle α = quantité de betteraves travaillées en k

t le nombre de minutes nécessaires pour un lavage complet, P le poids d'un mètre cube (500 k. environ).

Épierreur (Steinfanger ; Stone Remover)

Chaque laveur est ordinairement complété par un épierreur à bras formé d'une caisse en tôle dans laquelle tournent 3 ou 4 bras en fonte disposés dans le même plan, convenablement espacés et calés sur le prolongement de l'arbre du laveur. Les betteraves par suite de leur faible densité flottent dans l'eau en mouvement contenue dans la bêche tandis que les pierres tombent au fond et échappent aux palettes épierreuses. Celles-ci enlèvent les racines comme le ferait une fourche et, par l'échancrure que présente la caisse, les jettent dans l'élévateur.

Une bonne disposition consiste à faire entrer l'eau de lavage par le bas du caisson épierreur.

Aéro-Épierreur - voir p. 145
Épierreur-rinceur à hélice

Les betteraves sortant des épierreurs précédents sont fréquemment reprises par un épierreur-rinceur à hélice mais dont la partie inférieure plonge dans un auget rempli d'eau et muni d'un faux fond et d'une poche à cailloux.

Pour éviter de relever les pierres tombées dans le fond de la poche, les spires en tôle sont arrêtées environ à 50 cent. du fond et remplacées par quelques bras B disposés en hélice.

Laveur Raude. — Le laveur Raude diffère complètement des précédents ; les parties travaillantes sont montées verticalement et non

horizontalement. Il se compose d'un réservoir vertical A (fig. 73) raccordé à sa partie supérieure avec une partie B de plus grand diamètre. Le fond du réservoir A est formé de 2 parties inclinées réunies en forme de toit. Aux 2 parties les plus basses de ce fond la calandre présente des trous d'homme b. Dans l'axe du cylindre A se trouve un arbre vertical c qu'un train d'engrenages coniques d fait tourner à raison de 18 à 21 tours par minute et qui porte deux bras e armés de tôles en forme de pelles.

La calandre de la partie B présente une ouverture g fermée par une grille formée de plusieurs barreaux recourbés en forme d'S, grille qui peut tourner autour d'une charnière verticale. A l'aide des vis i on fixe cette grille dans une position telle qu'elle forme avec la paroi du laveur une ouverture par laquelle les betteraves, qui circulent sur le rebord a, sont poussées à travers l'échancrure g.

En sortant du laveur proprement dit, les betteraves tombent dans l'hélice C mise en mouvement par le train d'engrenages coniques K, à raison de 24 à 33 tours à la minute. L'auge de cette hélice est inclinée à 35° sur l'horizon et sa partie inférieure est un peu en contre-haut du fond du laveur ; outre, les parties verticales de l'auge à cet endroit, sont rehaussées et raccordées à la calandre B de façon à constituer un large espace M dans lequel une échancrure n sert de trop-plein pour l'excédent d'eau sale. Au-dessus du niveau que l'eau doit occuper le radier de l'auge est perforé.

Le laveur étant en marche et l'eau arrivant au niveau n, on y fait tomber les betteraves aussi près que possible de l'arbre c ; elles descendent jusqu'au fond pendant qu'elles sont entraînées dans le mouvement de rotation et que la force d'inertie centrifuge les entraîne vers la périphérie. Parvenues là, elles sont influencées par les palettes qui les poussent vers le haut. Elle arrivent dans l'espace B et circulent en rond sur le rebord a jusqu'à ce qu'elles rencontrent la grille h qui les oblige à sortir. Au moyen de la vis i on règle la position de la grille h pour qu'elle fasse sortir du laveur exactement le poids de betteraves que peut découper le coupe-racines.

Dans l'espace M l'eau est assez tranquille, en sorte que les betteraves qui y arrivent tombent au fond, tandis que les matières étrangères telles que paille, morceaux de bois, etc., se rassemblent à la partie supérieure. Les betteraves sont reprises par l'hélice C et séparées de l'eau tandis que les impuretés sont entraînées par l'eau sale à travers l'échancrure n. Une tôle inclinée o empêche les parties surnageantes de retourner dans le laveur.

Comme l'eau propre arrive à jet continu pendant le lavage, les impuretés sont évacuées également d'une façon continue par n, et il suffit de nettoyer le laveur 1 ou 2 fois par semaine. Pour cela, on interrompt l'arrivée des betteraves et on laisse tourner le laveur jus-

plir par trop, car alors les pierres et la paille ne sont pas si bien élevées. *Voir Roum. p. 415*

Élévation des betteraves lavées

Suivant les dispositions de l'usine, l'élévation des betteraves lavées peut être faite soit par un élévateur à godets vertical ou incliné soit par un élévateur à palettes.

Élévateur vertical à godets (Kasten ou Eimer Werk, Chain and bucket lift)

C'est le plus employé. Il se compose de 4 montants en fer ou en

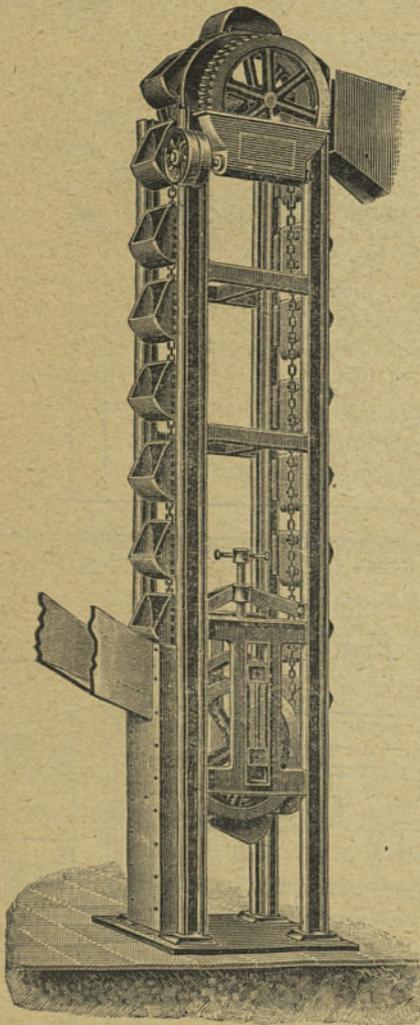


Fig. 74.

bois et 2 poulies ou tambours à gorge (fig. 74) sur lesquelles s'enroule la chaîne portant les godets à fond perforé. Sur les godets sont rivés des crochets pour l'accrochage et des cornières pour le guidage ; une bavette empêche l'eau de tomber dans le godet inférieur. Il est préférable de mettre les trous d'égouttage sur les 2 joues verticales plutôt que de les placer au fond du godet comme on le fait généralement. Les godets doivent être très rapprochés les uns des autres, se toucher pour ainsi dire pour que les betteraves déversées sur la trémie d'attente du haut et renvoyées en arrière quand cette trémie est pleine, ne puissent passer entre deux godets et retomber à la partie inférieure de l'élévateur. Le mouvement est donné au tambour supérieur ; la poulie inférieure est calée sur un arbre porté par des coussinets à vis afin que l'on puisse donner à la chaîne la tension nécessaire.

Les betteraves arrivent dans la trémie à gauche, sont évacuées à droite à la partie supérieure et tombent dans une trémie d'attente qui les conduit à la benne de pesage.

Le système à deux chaînes est préférable quand elles sont faites du

même acier et s'allongent uniformément, mais ces conditions sont difficilement réalisables et la chaîne s'allongeant plus d'un côté que de l'autre prend une forme sinueuse, les godets s'accrochent, etc. Beaucoup d'industriels aiment mieux n'avoir qu'une chaîne très résistante.

Avec l'élevateur vertical à 2 chaînes, l'accident se limite le plus souvent à la rupture d'une seule chaîne ; alors le chapelet des godets se coince entre les guides et la courroie de commande se casse ou tombe. Il faut éviter une courroie trop forte qui, au lieu de céder, ferait casser la 2^e chaîne et causerait un long arrêt pour remonter tout le chapelet.

L'élevateur vertical à godets présente un inconvénient. Le poids des godets est très grand, et quand, malgré les précautions qu'on a prises, les chaînes se cassent, c'est un accident grave qui peut arrêter l'usine durant plusieurs heures. Pour cette raison, on préfère assez souvent, quand la hauteur de l'élévation n'est pas trop grande, l'élevateur incliné à palettes décrit plus haut ; mais c'est un appareil encombrant et perdant beaucoup de travail ; il faut l'éviter autant que possible.

Secoueur (Schüttel Sieb, Shaking carrier ou screen)

On place parfois en avant de l'élevateur un secoueur composé d'un tablier perforé incliné et fixé par 4 bielles à un bâti fig. 75. Un excentrique ou vilbrequin actionné par une poulie donne au tablier un

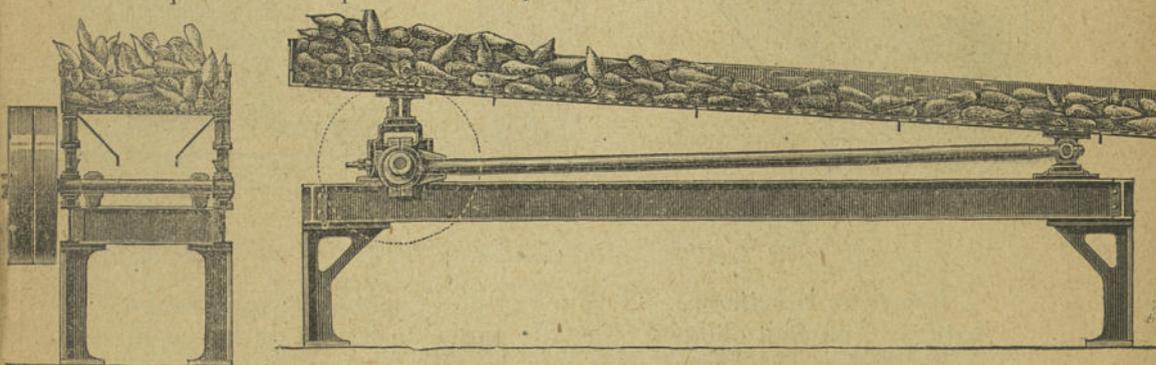


Fig. 75. -- Secoueur de betteraves (Halle'sche Maschinenfabrik).

mouvement de va et vient par l'intermédiaire d'une bielle. Les betteraves tombent dans la trémie de l'élevateur. Cet appareil n'est plus que fort peu employé depuis la suppression de l'impôt sur la betterave, mais il devrait exister partout, car il rend de grands services : 1^o Il enlève l'eau de rinçage adhérente à la betterave et par conséquent les

microorganismes contenus dans cette eau ; 2° Il enlève aussi des radicelles, du sable, des pierrailles, etc. On y place généralement un gamin qui est chargé d'enlever les pierres et même les bras de laveur qui montent au coupe-racines.

Collecteur de radicelles (Rübenschwanz fanger)

Les eaux du transporteur entraînent des radicelles et des queues de betteraves et des morceaux de bois et autres corps étrangers qui viennent ensuite obstruer les pompes et corrompre les eaux.

Pour enlever tout cela automatiquement, la maison Maguin installe un collecteur de radicelles constitué par un collecteur à chaînes et palettes placé au-dessus d'un plan incliné perforé (fig. 76).

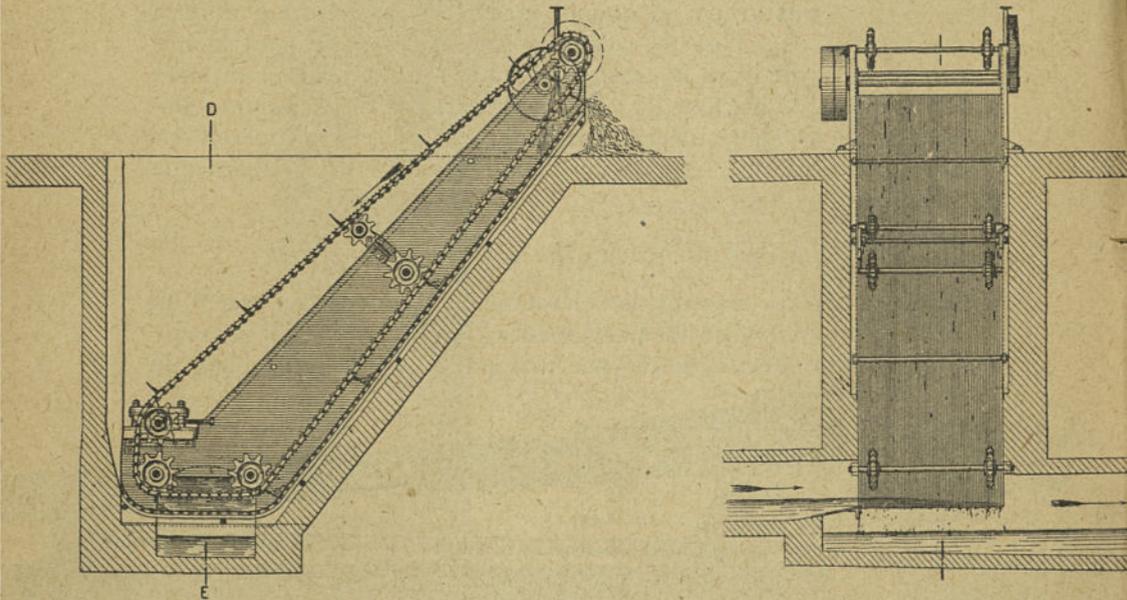


Fig. 76. — Collecteur de radicelles (construction Maguin).

Pesage de la betterave. — Au temps où l'impôt était perçu sur la betterave, on était obligé d'avoir à la partie supérieure du bâtiment de la diffusion, une bascule pour peser les racines mises en travail. La plupart des fabricants français ont conservé cette bascule telle que la loi l'exigeait. Elle porte une benne B (fig. 77) munie à sa partie supérieure d'une porte d'emplissage du côté de l'élevateur E et à sa partie inférieure d'une porte de vidange du côté de l'inclinaison du fond. Ces 2 portes sont solidaires de sorte que l'on ne peut pas introduire de betteraves dans la benne pendant la vidange.

Dans les sucreries récemment installées, on emploie de préférence

pour le pesage des betteraves, une bascule automatique qui a l'avantage de supprimer toute la main-d'œuvre que nécessitait le pesage à la main.

Balance automatique « Chronos ». — Cette balance, construite par Reuther et Reiserl, de Hennel, est supportée par deux arcades G (fig. 78). Le fléau à bras égaux est soutenu en son milieu par des

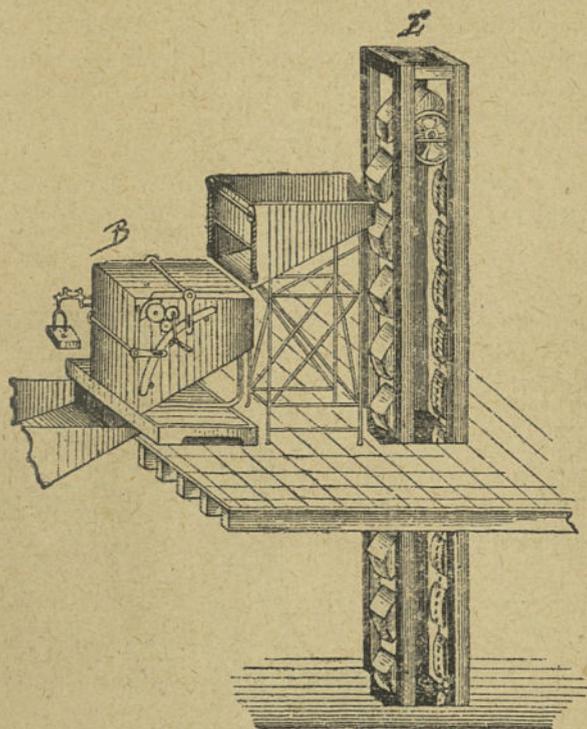


Fig. 77. -- Pesage sous la loi 1884.

couteaux 1; il supporte d'un côté, par le cou-teau 2, un plateau B recevant les poids et, de l'autre côté, par le cou-teau 3, les bielles de suspension de la benne B1 laquelle peut basculer autour des cou-teaux 4. Aussi longtemps que l'on amène des betteraves, la benne B1 s'emplit et se vide automatiquement; l'arrivée des betteraves dans la benne pendant la vidange est arrêtée spontanément par la balance. Comme il n'est pas possible de régler d'une façon absolue l'adduction des betteraves et que, avec la rapidité de son arrivée dans la benne,

il tombe encore quelques racines une fois que le poids normal est atteint, les pesées ne seront jamais exactement les mêmes, et il y aura toujours un léger excédent par rapport au poids normal correspondant à la charge du plateau. D'après l'expérience cet excédent peut aller jusqu'à environ 25 k. Dans la *Chronos* un dispositif spécial marque et additionne les poids exacts du contenu de chaque benne. La balance porte 2 compteurs dont l'un, celui du haut, enregistre le nombre de kilos correspondant au poids normal (300 à 500 k), tandis que l'autre, celui du bas Z, enregistre et totalise les excédents. Ce dernier résultat est obtenu de la façon suivante : en abaissant le cou-teau 3 et par suite le cou-teau 4 la benne chargée B1 non seulement soulève le cou-teau 2 et le plateau chargé B, mais en outre elle fait

dévier le pendule E qui, par l'intermédiaire du tourillon s et au moyen d'un ruban d'acier est relié aux suspensions de la benne. Plus l'excédent le poids est grand, plus est grande la déviation du pendule E, et cette déviation se continue jusqu'à ce que la balance soit en équilibre. Le mouvement du pendule E se transmet par le bras K, à une crémaillère et, en proportion de l'excédent, au compteur du haut. Les betteraves montées par l'élevateur arrivent dans la trémie V qui peut être fermée par le clapet d'entrée S. Quand ce clapet est ouvert, il est soutenu par le coude articulé A₁. Lorsqu'on remplit la benne de betteraves, son centre de gravité d'abord à droite du couteau se déplace vers la gauche et elle pivoterait autour du couteau 4 si elle n'était maintenue par le crochet c s'appuyant sur l'appendice que présente le levier b. Aussitôt que le poids normal est atteint dans la benne B₁, celle-ci s'abaisse, le doigt a vient choquer le levier coudé A, dégage

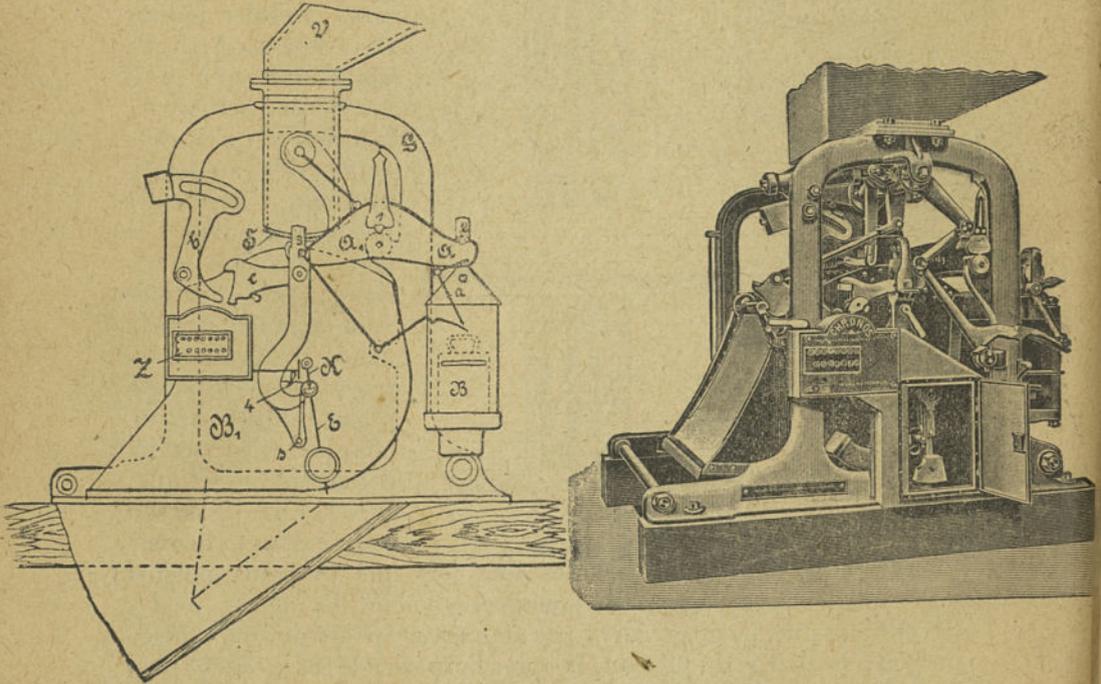


Fig. 78. — Balance Chronos (Maschinenfabrik-Henkel-Rheinland)

par suite le coude articulé A qui retombe et ferme en même temps le clapet s. Celui-ci se fermant fait basculer le levier culbuteur b dont l'appendice abandonne le crochet c et par suite la benne B peut basculer autour des couteaux 4 et se vider. Après vidange la benne B se relève, tous les mécanismes se remettent dans leur position primitive, le clapet s s'ouvre et l'arrivée des betteraves recommence.

CHAPITRE III

Extraction du jus de la Betterave

(*Saft Gewinnung, Juice Extraction*)

Aux débuts de l'industrie sucrière on épuisait la betterave de son sucre en la déchirant au moyen d'une râpe et soumettant la râpure à l'action d'une presse qui faisait écouler le jus (a beet juice, al rüben-saft). Cette râpe a rasp all reibe) était un tambour cylindrique en bois garni de lames de scie et tournant à une assez grande vitesse (700 à 800 tours) ; contre ce tambour venaient s'appliquer les betteraves dont les tissus cellulaires et fibreux étaient déchirés par les dents de la râpe. La râpe était mue à bras ou par un manège, tout à fait au début de l'industrie sucrière ; dans les deux cas la betterave était poussée contre le tambour par des pousseurs en bois manœuvrés à la main.

La râpure était introduite dans des sacs en laine qu'on empilait sur la table d'une presse hydraulique ; celle-ci était la presse de Pascal munie de joint de Brahma en cuir embouti.

La figure 79 représente une telle presse avec plate-forme tournante munie d'ouverture a pour le passage du piston Q. Les deux plateaux de base R sont guidés le long du pilier P par une encoche fixe e venue de fonderie et, le long de l'autre pilier, par une encoche à charnière d, qu'on relève quand il s'agit d'entrer ou de sortir une pile. Le jus est recueilli par la nochère n. Notons ce fait intéressant que les dernières presses hydrauliques de sucrerie n'ont été démontrées en Allemagne qu'en 1892.

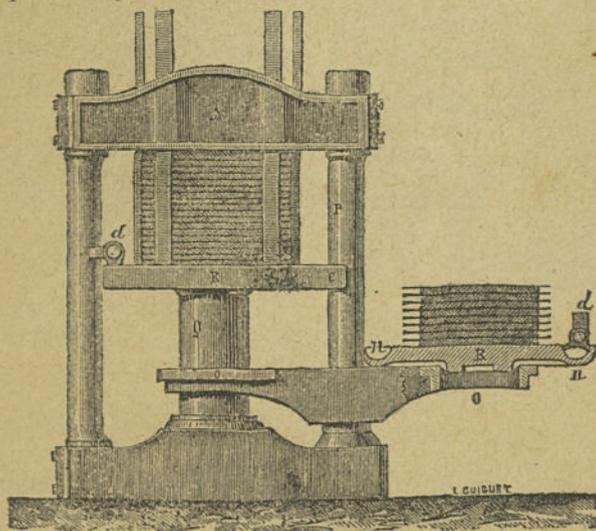


Fig. 79. — Presse hydraulique.

Des 1821, un agronome distingué, Mathieu de Dombasle, essaya de remplacer les râpes par des appareils à couteaux qui exigent bien moins de force, et en 1831 il essaya en grand d'extraire le sucre de la betterave en épuisant par l'eau bouillante, les racines découpées en rondelles.

On se figurait à cette époque qu'il

En 1853, Champonnois appliqua la macération à l'épuisement de la betterave en vue de la *fabrication de l'alcool*, et ce procédé se répandit rapidement en distillerie.

A part quelques sucreries allemandes dans lesquelles on adopta la mécération (fig. 104) le procédé des râpes et des presses continua

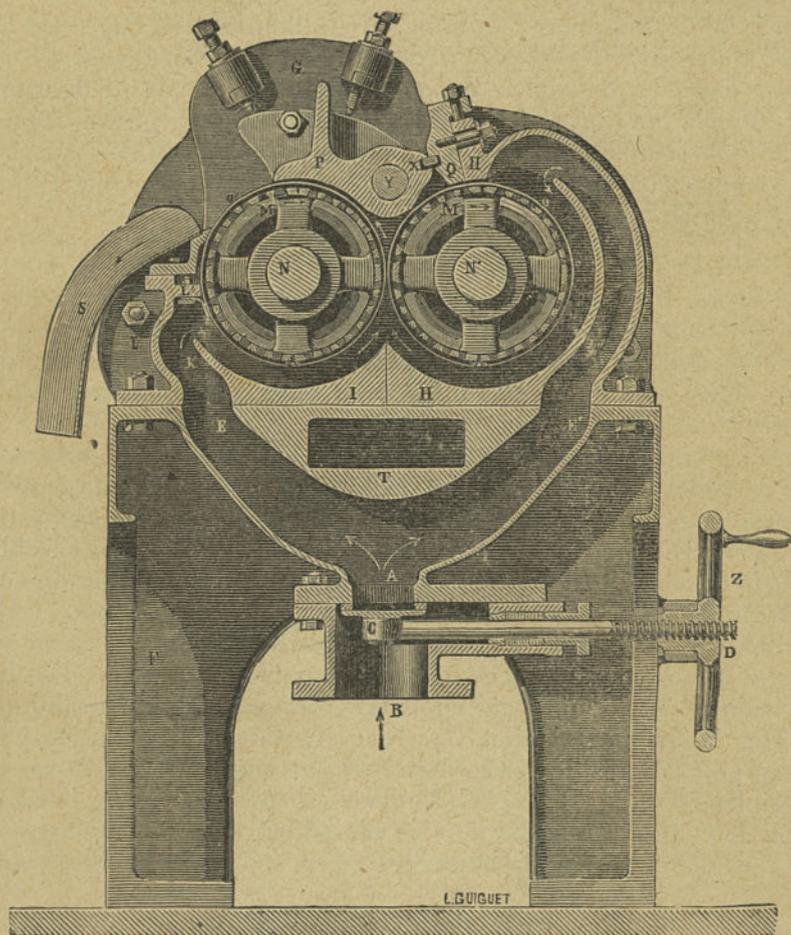


Fig. 82. — Presse continue Dujardin (Wauquier).

d'être le plus employé en Allemagne jusque vers 1870 et en France vers 1876. Nous reproduisons ici à titre historique les dessins en coupe des appareils d'extraction perfectionnés par râpage et pression, tels qu'ils existaient au moment où ce système fut définitivement supplanté par la diffusion.

Dans la râpe à tambour ou à denture externe ou à sabots (inventée

par Thierry en 1830), les betteraves sont poussées contre le-tambour tournant par des sabots S manœuvrés par des cames E. Dans la râpe centrifuge de Champonnois (fig. 81), inventée en 1866 la betterave entrant en T est entraînée par la rotation d'un disque à 3 branches ; la force d'inertie centrifuge la pousse contre la denture interne et la râpüre sort par les lumières laissées entre les lames.

La râpüre produite par ces râpes était aspirée par une pompe et refoulée dans une presse continue. Nous donnons ici (fig. 82) la presse Dujardin à 2 rouleaux NN' et à panneaux IH excentrés. La pulpe refoulée en B se divise dans les canaux EE', s'engage dans un espace de plus en plus restreint, à mesure qu'elle perd son jus, lequel gagne l'intérieur des rouleaux perforés, est saisie entre les rouleaux et sort finalement en s après avoir subi la pression du volet P qui empêche la réabsorption du jus par la pulpe pressée.

Historique de la diffusion

Un savant français, Dutrochet, avait découvert, en 1826, la propriété générale que possèdent les membranes de nature organique, de permettre, à travers leurs interstices, l'échange des corps dissous, de nature différente qui peuvent baigner les deux faces d'une des membranes.

Si on prend un gros tube de verre fermé par une membrane animale et contenant une dissolution de sel marin, qu'on plonge ce tube dans un vase contenant de l'eau, de façon que le niveau de l'eau soit à la même hauteur à l'intérieur et à l'extérieur du tube, il s'établit immédiatement à travers la membrane un double courant, car on voit le niveau de l'eau monter dans le tube et l'on constate que l'eau du vase devient salée. Dutrochet donna le nom d'endosmose (endonn en dedans, osmos=courant) au courant qui entraîne l'eau dans la dissolution saline et d'exosmose (ex=en dehors, osmos=courant) à celui qui entraîne la dissolution saline vers l'eau. Le tube de verre permettait de mesurer la force de l'endosmose par l'ascension de la colonne liquide dans le tube. Dutrochet donna à cet appareil le nom d'endosmomètre et après un grand nombre d'expériences, il reconnut que le sucre est de toutes les substances *végétales*, celle qui a le plus grand pouvoir endosmotique.

En 1849, un physicien anglais, Graham, observa que quand deux liquides ou deux gaz sont mis en présence, ils se mélangent ; il donna à cette force le nom de *diffusion*.

Si on met dans un verre un liquide dense et au dessus un liquide plus léger, par exemple de l'eau, on remarque qu'au bout d'un certain temps les 2 liquides (ou les 2 gaz) sont mélangés.

En 1854 Dubrunfaut reprit les expériences de Dutrochet en mettant dans le tube, de la mélasse ; il constata que les sels de potassium à acides inorganiques et organiques passaient le plus vite à travers la

membrane et se retrouvaient dans l'eau d'exosmose, tandis que le sucre contenu dans la mélasse restait dans le liquide d'endosmose sous un plus grand état de pureté, mais plus dilué, par l'entrée dans l'eau du courant d'endosmose. Dubrunfaut désigna ce phénomène sous le nom d'*analyse osmotique* ou d'*osmose*.

Dubrunfaut conserva les mots endosmose et exosmose de Dutrochet et il proposa également de donner au courant d'endosmose le nom de mégasmose et au courant d'exosmose le nom de microsmose (mégas : grand ; mikros : petit).

En 1862, Graham fit connaître un ordre de phénomènes basés sur les mêmes principes que l'endosmose de Dutrochet et l'analyse de Dubrunfaut.

En plaçant dans un appareil semblable à l'endosmomètre de Dutrochet, un mélange dissous dans l'eau d'un produit cristallisable et d'un produit incristallisable, Graham reconnut que le produit cristallisable passait seul à travers la membrane ; se basant sur cette propriété, il divisa tous les produits en 2 classes ; les *cristalloïdes* et les *colloïdes*. Il désigna cette opération sous le nom de *dialyse* et il donna à son appareil le nom de *dialyseur*.

En 1863, Dubrunfaut introduisit son osmogène dans la fabrication du sucre, et, comme la dialyse de Graham avait fait une grande sensation dans la science, on considéra la découverte de l'osmose de Dubrunfaut comme dérivant directement de la dialyse.

Mais Dubrunfaut prouva que son procédé était basé non pas sur la dialyse de Graham, c'est-à-dire la séparation entre les colloïdes et les cristalloïdes, mais sur l'analyse osmotique, les principes les plus diffusibles, tels que les sels passant plus vite à travers les membranes que le sucre moins diffusible.

En 1864, un autrichien, Jules Robert (fils d'un français, Florent Robert, dont il est parlé plus loin), fabricant de sucre à Seelowitz en Moravie (Autriche) prit un brevet pour un nouveau procédé d'extraction du jus de la betterave par le procédé dit de *diffusion*. Il était au courant des travaux de Dutrochet, de Dubrunfaut et de Graham. En répétant au laboratoire les expériences de Pélouze sur les matières pectiques, J. Robert se rendit compte que ceux qui macéraient trop chaud faisaient éclater les cellules, chargeaient le jus de matières pectiques entravant le travail ultérieur. Ses expériences pour déterminer les meilleures conditions de température lui firent constater l'influence énorme du découpage de la betterave en lamelles minces et régulières. Il n'existait aucun matériel répondant aux exigences que le laboratoire avait révélées. J. Robert dut tout créer : le coupe-racines à plateau horizontal et la batterie de vases clos.

En même temps que dans son usine de Seelowitz, il procédait à l'extraction du sucre de betterave par les appareils ordinaires de rapage

et de pression, il avait affecté une partie de sa fabrique à l'extraction du sucre par le lavage des betteraves découpées en lamelles. Mais le jus ainsi obtenu, travaillé séparément, ne se prêtait pas à la défécation ordinaire : il ne se clarifiait pas par la séparation d'un chapeau d'écume. On devait le travailler en mélange avec celui des presses hydrauliques.

À la même époque apparaissait un nouveau procédé de défécation, la *défécation trouble*, de Jellineck, fabricant de sucre en Bohême, avec de l'acide carbonique et des nouveaux filtre-pressés qui venaient de prendre naissance. J. Robert s'empressa de l'adopter et après maints perfectionnements de détails, la diffusion fonctionna en grand en 1868. À partir de cette date le procédé se répandit rapidement en Autriche, en Allemagne et en Russie. Il n'en fut pas de même en France où les mécaniciens s'ingéniaient à remplacer les presses hydrauliques par les presses continues. J. Robert avait concédé ses brevets à la maison Cail, puis à la Cie de Fives-Lille, mais ces constructeurs ne firent rien pour répandre le procédé ; ils ne croyaient pas à la réussite de la diffusion en France à cause de la pauvreté de la betterave. D'ailleurs dans les sucreries françaises il n'y avait alors ni chimiste ni laboratoire, et l'on se souciait peu d'introduire dans l'usine un procédé exigeant des connaissances quelque peu scientifiques.

Convaincu que cette opinion générale ne s'appuyait que sur un préjugé entretenu par les constructeurs, M. Ferdinand Quarez ne craignit pas de monter la diffusion en 1876 dans la sucrerie de Villeneuve-sur-Verberie (Oise), où il travailla la betterave pauvre que l'on avait à cette époque, avec un succès tel qu'il en obtint 1 % de sucre en plus que par les presses, avec des produits de qualité supérieure tels que le jury de l'Exposition Universelle de 1878 lui décerna le grand prix.

La démonstration était faite, mais la diffusion rencontra encore longtemps en France une vive opposition de la part des cultivateurs à cause de la pulpe non identique à celle des presses, qu'ils accusaient de nuire aux animaux.

Ce ne fut qu'après l'application de la loi de 1884, établissant l'impôt sur la betterave, qu'on se décida enfin à adopter partout la *diffusion*. Des presses continues qui n'avaient fonctionné qu'une campagne, furent démontées et passèrent aux mains des distillateurs de betterave en même temps que les rapes, pompes à pulpe, etc...

Procédé de la diffusion

Nous avons vu que la chair de la betterave se compose de 2 tissus différents, le tissu fibreux riche en sucre mais pauvre en non-sucre, et le tissu cellulaire pauvre en sucre mais riche en non-sucre minéral et organique, notamment en matières albuminoïdes, pectiques, etc...

Quand on soumet la betterave à l'action de la râpe, celle-ci déchire les deux tissus et le jus pur du tissu fibreux se mélange au jus impur du tissu cellulaire. Au contraire, si on découpe la betterave en tranches ou lamelles très fines et qu'on mette celles-ci en contact avec de l'eau, il va se passer les phénomènes qui ont été étudiés par Dutrochet, Dubrunfaut et Graham.

Si l'on remplit une vessie avec de l'eau contenant en dissolution du blanc d'œuf, de la gomme, du sucre et du sel de table et qu'on la plonge dans l'eau, l'eau pénétrera dans la vessie (endosmose), l'albumine et la gomme y resteront en grande partie, tandis que le sel et le sucre en sortiront presque complètement (exosmose et séparation en 2 classes ou dialyse).

Le sel sortira beaucoup plus vite que le sucre, mais le contraire serait à notre point de vue préférable, puisque c'est le sucre que nous voulons extraire. L'intensité des deux courants diminue à mesure que l'eau s'enrichit en substances cristalloïdés, et pour produire l'épuisement aussi rapide que possible, il faut renouveler l'eau extérieure, c'est ce que l'on fait dans l'industrie. Quand les lamelles de betteraves sont partiellement épuisées, on les met en contact avec une nouvelle eau ou du moins avec un jus sucré plus pauvre et comme la dernière eau serait très pauvre, on la remet en contact avec des lamelles plus riches pour l'enrichir.

En résumé on extrait le sucre par exosmose en bénéficiant de la dialyse et de la diffusion, mais on ne peut utiliser l'analyse osmotique, puisque c'est au moment le plus favorable à l'extraction que les sels se glissent avec le sucre dans le liquide d'exosmose. L'analyse osmotique est appliquée dans l'osmogène de Dubrunfaut encore quelquefois employé pour le traitement des mélasses. Une température d'environ 80° favorisant l'exosmose ou diffusion, on chauffe le liquide comme nous le verrons.

Voici comment on explique actuellement l'influence de la température : Une cellule se compose de l'enveloppe cellulaire d'une couche de protoplasme, du liquide cellulaire et enfin du noyau. Le jus ne peut pas sortir d'une cellule vivante, parce que l'enveloppe protoplasmique est imperméable au liquide cellulaire. La tâche qui incombe à tous les procédés d'extraction du jus est donc de détruire l'enveloppe protoplasmique ou plutôt de la modifier de façon qu'elle ne soit plus un obstacle à la sortie du jus.

Découpage de la betterave

Coupe-racines. — (Schnitzelmaschine, Beet slicer)

On découpe la betterave en lamelles au moyen des coupe-racines. Il en existe un grand nombre de types.

Coupe-racines à plateau rotatif

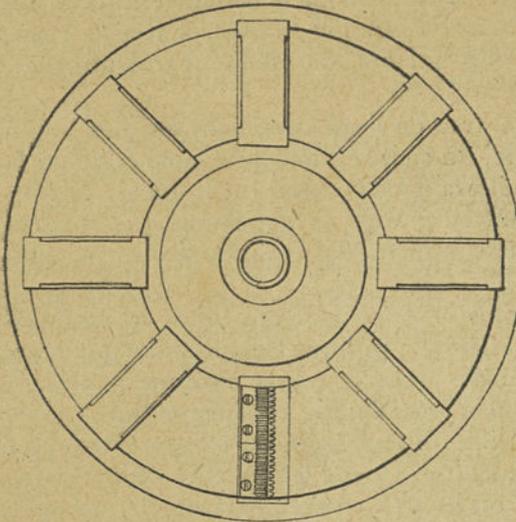


Fig. 83. — Plateau rotatif.

D'une façon générale, le coupe-racines à plateau rotatif se compose d'un grand disque ou plateau en fonte ou en acier percé d'ouvertures rectangulaires ou lumières dans lesquelles viennent se fixer des couteaux ou plus généralement aujourd'hui des portes-couteaux (Fig. 83).

Ce plateau est calé sur un arbre horizontal ou vertical tournant à une vitesse de 100 à 150 tours par minute, ^{pour un diamètre de 1 m 70} et il est entouré d'une enveloppe en en tôle ou en fonte qui reçoit une trémie pour l'ad-

duction de la betterave sur le plateau. Les couteaux se présentent dans le plateau comme des lames de rabot et on règle la grosseur des lamelles d'après la position du fer.

Coupe-racines à plateau rotatif horizontal à commande inférieure (de Jules Robert)

Ce coupe-racines ne convient bien que pour les batteries en ligne; avec le système circulaire le dessous du plateau est occupé par l'entonnoir de distribution des lamelles (Fig. 84).

Il se compose d'une trémie A., du plateau portant les boîtes à couteaux CC, du réservoir F où tombe la lamelle et de la trémie de vidange G. Une palette rotative f pousse les lamelles dans cette dernière trémie, d'où elles tombent sur la courroie sans fin ou sur le plancher à rateaux qui alimente les diffuseurs. Le couvercle au-dessus du plateau porte plusieurs ouvertures : l'une d'elles porte la trémie d'alimentation A ; l'autre V permet de visiter le plateau et de placer les couteaux.

Construit ainsi l'appareil ne coupe que sur la partie qui correspond à la trémie. Actuellement on fait des coupes-racines coupant sur toute leur surface ou plus exactement sur toute leur périphérie.

Pour cela on fait occuper par la trémie toute la périphérie du pla-

teau ; on ménage simplement en un point quelconque une niche avec une porte pour la visite.

Comme il y a un grand écart de vitesse entre la périphérie et les points voisins du centre du plateau, il n'y a pas intérêt à élargir par trop la zone de coupe et à prolonger les lumières et les couteaux du côté de l'axe.

On place donc au centre de la trémie une cloche C qui recouvre et protège la douille supérieure guidant l'arbre de commande (Fig. 85).

La trémie doit toujours être maintenue pleine pour avoir une pression suffisante de betteraves contre le plateau, les empêcher de rouler et assurer le découpage.

Pour empêcher les betteraves d'être entraînées dans le mouvement de rotation du plateau, on dispose dans la partie inférieure de la trémie, quelques arrêteurs A. Pour assurer davantage la régularité des lamelles, on incline les arrêteurs à 45° et on les termine par une plaque d'acier de 1 cc d'épaisseur dont on peut faire varier la hauteur. Au sommet de l'angle formé par les arrêteurs avec le plateau, on ménage parfois une poche dans laquelle s'accumulent les petits cailloux.

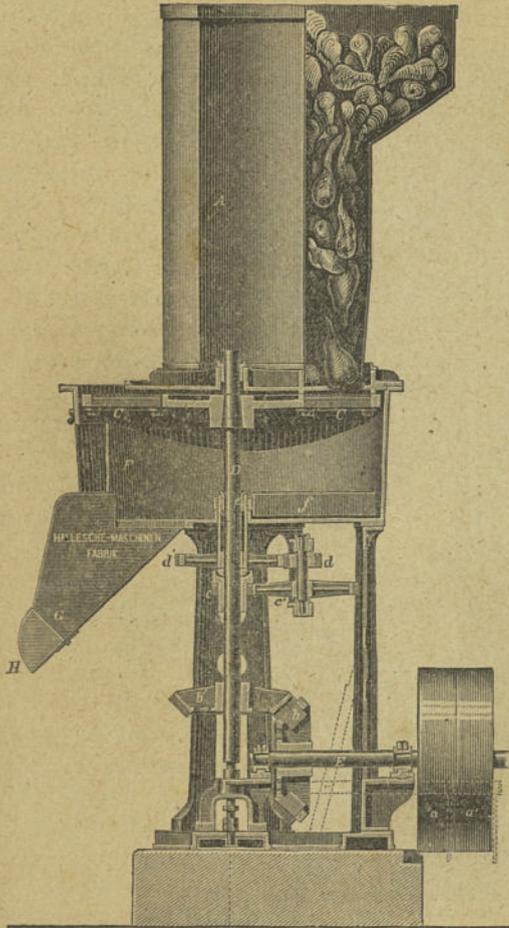


Fig. 84. — Coupe-racines à Commande inférieure .

teu, on ménage parfois une poche dans laquelle s'accumulent les petits cailloux.

Dans le coupe-racines Grevenbroich (voir fig. 101) on a supprimé la boîte à cossettes et la palette propulseuse. Les lamelles ne sont plus brisées par cette palette et tombent sur le transporteur en couche régulière et non plus par paquets.

Coupe-racines à plateau rotatif à commande supérieure

Ces coupe-racines sont surtout employés pour les batteries circulaires.

A.. Arbre soutenu par crapaudine (Fig. 86).

Autrefois les engrenages de commande étaient placés au-dessus du couvercle à côté de la trémie. Actuellement au lieu de placer l'engrenage de commande en dehors de la trémie, on fait occuper par la trémie toute la surface du plateau et on y installe une cloche, sous laquelle on place le train d'engrenages (Maguin). Une niche aboutit à cette cloche pour la visite du plateau.

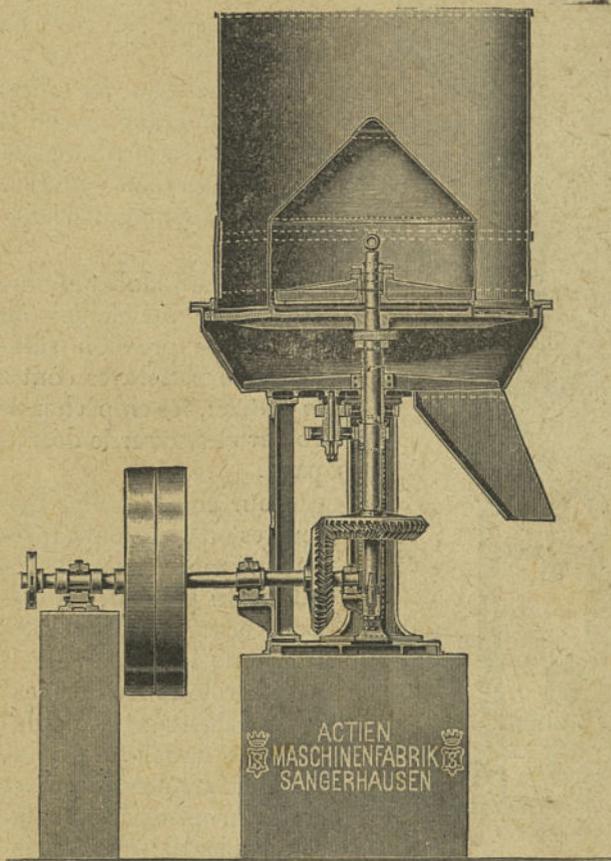


Fig. 85. — Coupe racines à Commande inférieure.

Dans cet appareil, la crapaudine doit supporter en plus du poids de l'arbre et du plateau tout le poids des betteraves contenues dans la trémie ; il fait donc la soutenir par plusieurs traverses et celles-ci arrêtent au passage des cossettes qui se mettent à cheval sur elles et peuvent séjourner dans cette position en s'altérant plus ou moins.

Pour cette raison on préfère souvent le coupe-racines à arbre suspendu qui laisse le dessous du plateau entièrement libre.

Coupe-racines à plateau rotatif à commande supérieure

B. Arbre suspendu (Fig 87).

Dans ce cas l'arbre est encore centré dans le bas par une douille d soutenue par quelque bras situés au-dessus du plateau ; mais à la

partie supérieure il est soutenu par une arcade *A* cylindro-conique ou en forme de fourreau terminée par un godet constituant un réservoir d'huile. Cette arcade occupe la place prise par la cloche dans les autres coupe-racines.

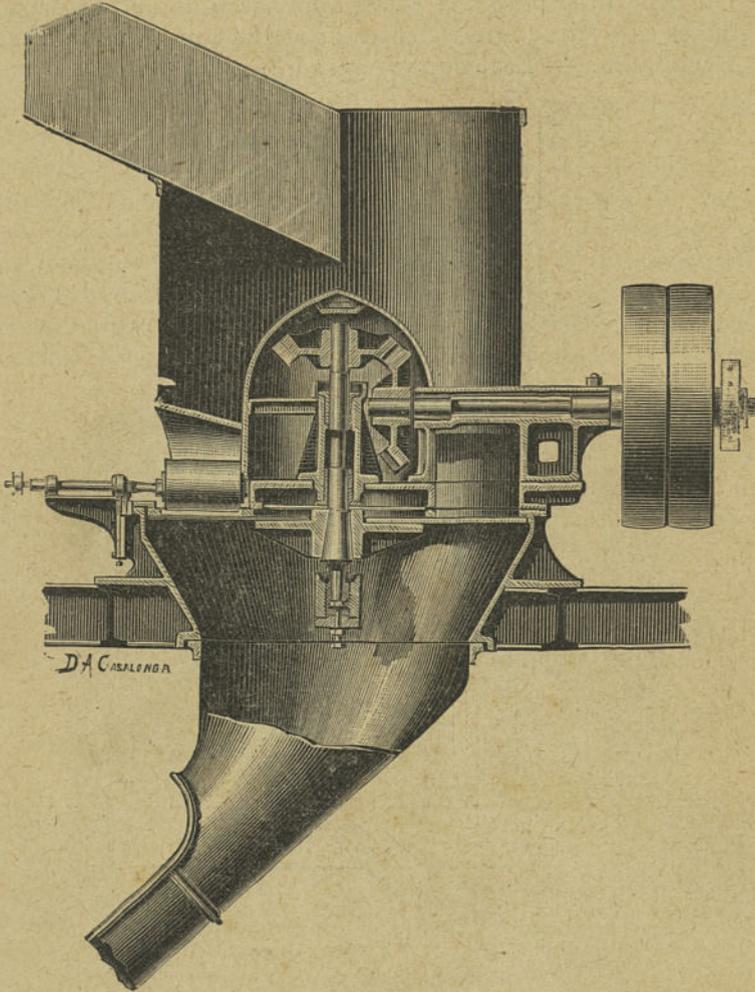


Fig. 86. — Coupe-racines à Commande supérieure (Maguin).

Au fond du godet *g* est fixée, par des goujons, une embase en fonte *e*, sur laquelle repose et tourne une autre pièce également en fonte *é* et fixée de la même façon à un écrou *E* fileté sur l'arbre vertical. Un contre-écrou *E'* empêche le desserrage de cet écrou. On employait autrefois le roulement sur galets, mais ce système avait l'inconvénient

de chauffer même étant complètement noyé dans l'huile. Le glissement des deux rondelles chauffait aussi, ce qui n'a rien de surprenant, mais on obtient un frottement sans chauffage quand on a soin de faire les parties flottantes exactement de même métal. On adopte donc deux rondelles de fonte et taillées dans le même bloc.

On peut aussi munir la partie supérieure de l'arbre de plusieurs embases et le faire tourner dans un coussinet en bronze à rainures C.

Remarques. — Les coupe-racines à plateau horizontal précédem-

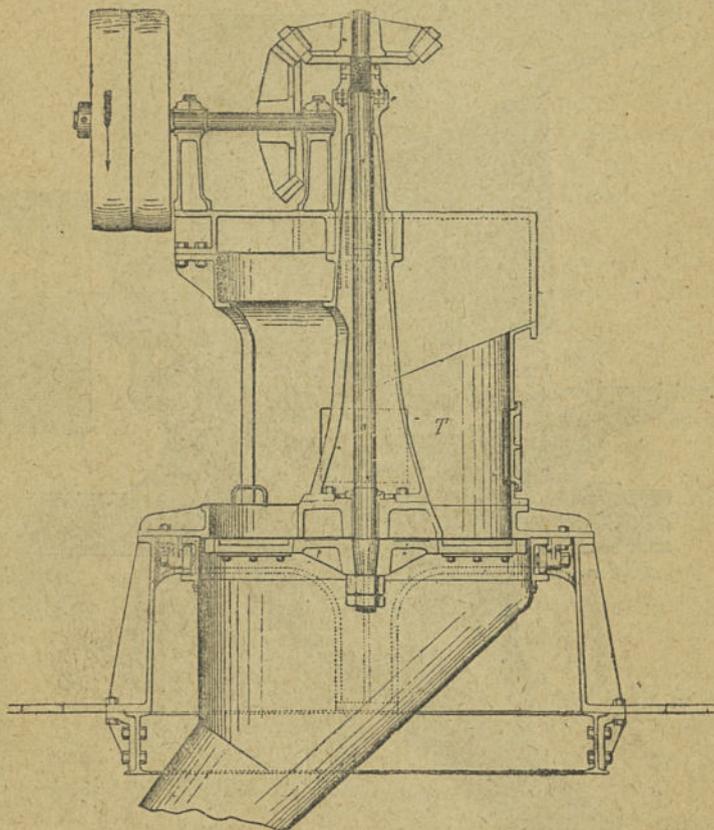


Fig. 87. — Coupe-racines à arbre suspendu (Wauquier).

ment décrits sont généralement non centrifuges. Dans le coupe-racines Bergreen le plateau au lieu d'être plan est légèrement excave, en forme d'assiette et les porte-couteaux sont inclinés du côté de l'axe. Grâce à cette disposition, la force d'inertie centrifuge en poussant les betteraves vers la périphérie au lieu de tendre à détacher les betteraves des couteaux, a au contraire, pour effet de les appliquer sur les couteaux et de les maintenir en place.

Trémie couvercle à cônes de Putsch. Pour maintenir les betteraves bien fixes en présence des couteaux, Putsch place au-dessus du couvercle qui doit recevoir la trémie et soutenir les betteraves en découpage, deux gaines ou cônes de forme hélicoïdale, s'étendant chacun sur une demi-circonférence et sur la moitié de la zone présentant des couteaux. La trémie est également partagée en 2 parties, l'une correspondant avec le canal figuré à droite de la gravure (une déchirure montre la cloche qui recouvre la douille de guidage de l'arbre) et l'autre avec celui figuré à gauche. Les betteraves entraînées par la rotation du plateau s'engagent dans un espace de plus en plus restreint à mesure qu'elles diminuent d'épaisseur par le découpage, ce qui les empêche de tourner sur elles-mêmes. Il en résulte des lamelles longues, régulières, non cassées et sans bouillie, une capacité productive plus grande pour une même vitesse ou la possibilité de réduire le nombre de tours. En outre, pour enlever les pierres, boulons et autres corps durs, il n'est pas nécessaire d'arrêter l'appareil et d'enlever les betteraves. Comme ces corps durs se retrouvent à l'extrémité

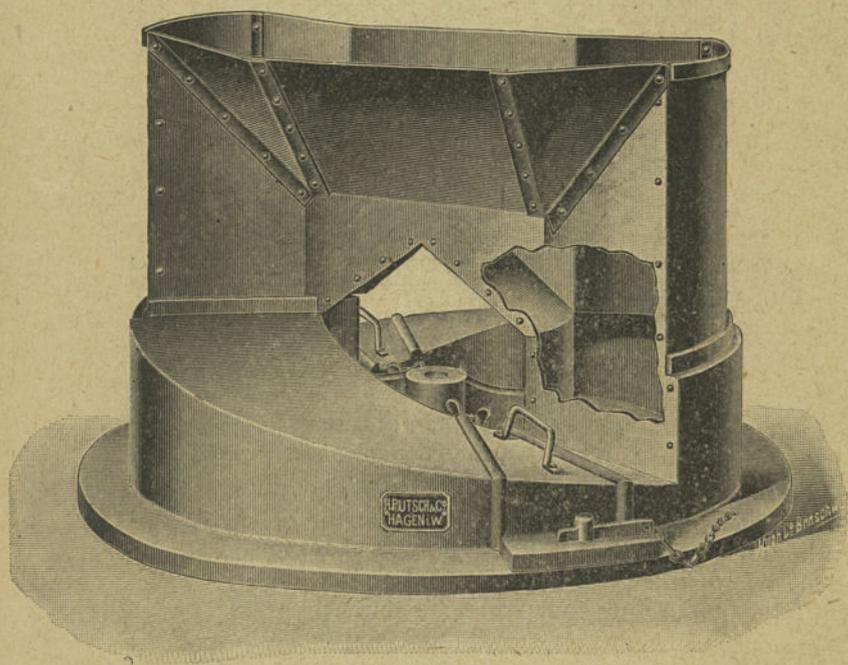


Fig. 88. — Trémie couvercle à cônes (Putsch).

du canal, il suffit d'enlever le couvercle que l'on aperçoit à l'extrémité de chaque canal pour pouvoir les retirer. On fait de même pour changer les porte-couteaux (Fig. 88).

Coupe-racines à tambour rotatif (de Maguin)

Il se compose d'un tambour T de 1^m200 de diamètre et de 0^m330 de largeur intérieure monté sur un axe horizontal A et portant sur toute sa surface extérieure huit porte-couteaux soit 24 rangées de couteaux. La betterave est entraînée parallèlement à elle-même dans le mouvement du tambour vers une section de plus en plus réduite formée par une petite pièce rigide en fonte P, en forme de virgule.

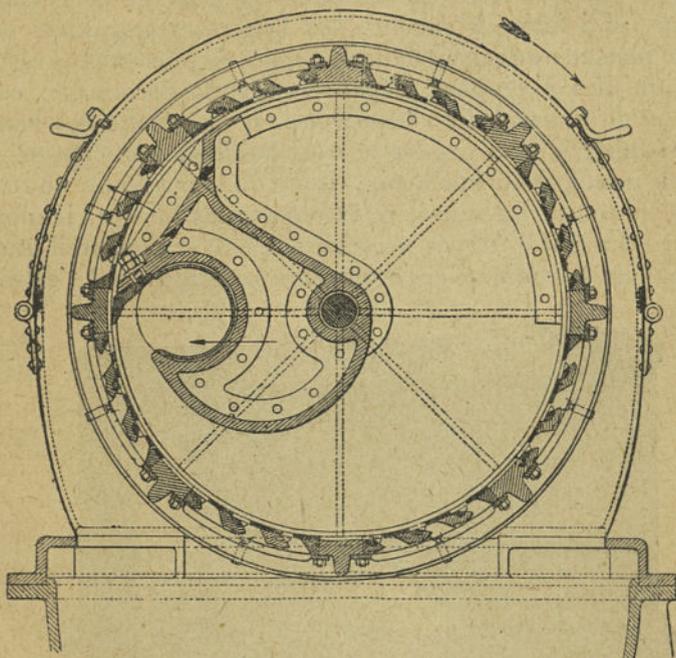


Fig. 89. — Coupe-racines à tambour rotatif.

Les couleaux étant très rapprochés, découpent la betterave suivant les mêmes faitières et d'autant mieux qu'elle est maintenue constamment dans sa position et pressée sur la surface coupante. A l'extrémité de la pièce en virgule est ménagée une cavité C formant épierreur et dans laquelle les morceaux de betteraves et les corps durs : pierres, boulons, viennent se loger,

Un tel coupe-racines tournant à 60 tours peut débiter 20.000 kgs à l'heure. En outre de son grand débit, cet appareil présente l'avantage que tous les couleaux sont parallèles et possèdent en chaque point la même vitesse ; on peut le faire tourner à 80 tours sans donner une vitesse linéaire exagérée comme cela arriverait avec un coupe-racines à plateau de 2 mètres.

Enfin la betterave étant maintenue par la disposition même de

l'appareil, il n'est pas nécessaire d'avoir une trémie pleine de betteraves comme dans le coupe-racines à plateau.

Coupe-racines à tambour fixe horizontal centrifuge (Champonnois)

On ne le rencontre guère que dans les petites distilleries de betteraves (Fig. 90).

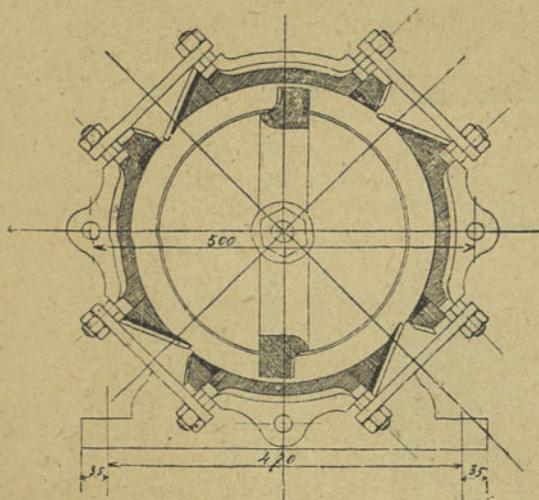


Fig. 90. — Coupe-racines centrifuge.

Il se compose d'une caisse légèrement conique en fonte fixée horizontalement et percée de 6 lumières, dans lesquelles viennent se placer les porte-couteaux. A l'intérieur de cette caisse se trouve un poussoir en forme de fourche fixé en porte-à-faux sur un arbre portant les poulies folles et fixes et tournant à une vitesse d'environ 400 tours par minute.

La force d'inertie centrifuge applique les betteraves contre les couteaux

qui les découpent et les cossettes sortent par les lumières.

L'inconvénient inhérent à tous les coupe-racines centrifuges à tambour fixe est celui-ci : Quand l'appareil marche à grande vitesse, les cossettes sont courtes et en quelque sorte hachées. On n'obtient de belles cossettes qu'en réduisant la vitesse, mais alors la force d'inertie centrifuge devenant insuffisante, le débit diminue dans une forte proportion et le coupe-racines se bourre à chaque instant.

On reproche avec raison au coupe-racines à plateau horizontal de ne bien fonctionner qu'avec une forte charge de betteraves sur le plateau et de donner un découpage qui varie aux différents points d'un même rayon ou d'un même couteau, en outre, cet appareil coûte cher, parce qu'il est lourd et que le plateau doit être parfaitement alésé et bien ajusté sur l'arbre ; il ne souffre donc pas la médiocrité, mais bien construit il donne de bons résultats et on le préfère généralement aux coupes-racines centrifuges.

Couteaux de diffusion (Schnitzel Messer, Slicing Blades)

Les premiers couteaux employés étaient des lames plates comme le fer d'un rabot.

On employa ensuite les lames à dents de bouvet dites lames à doigts, les dents ayant une largeur égale à celle que doivent pré-

senter les lamelles. Puis vinrent les

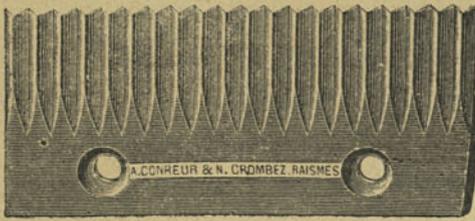


Fig. 91. — Couteau Goller.

betteraves en tranches à section triangulaire. Aujourd'hui on emploie le plus souvent le couteau faitière (Dachrippenmesser ; Ridge blade)

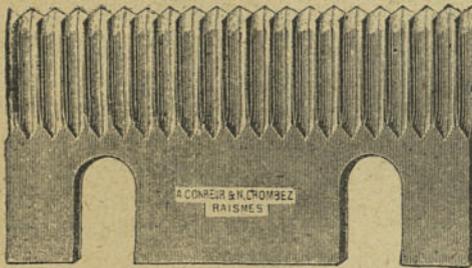
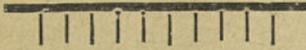


Fig. 92. — Couteau Faitière.

betteraves gelées ; il faut alors employer les lames à doigts ou les couteaux Goller.

Portes-couteaux ou boîtes à couteaux (Messerkasten, Blade holders)

Au lieu de fixer les couteaux et les contres-lames directement sur le plateau, on les fixe et on les règle d'avance dans des cadres appelés porte-couteaux que l'on pose simplement dans les lumières du plateau.

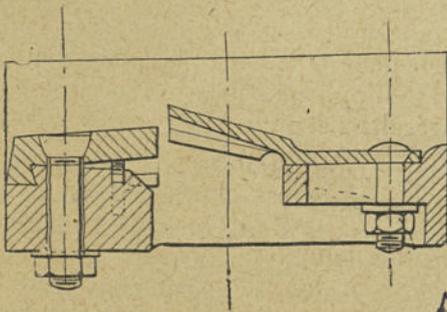


Fig. 93. — Coupe d'un porte-couteau.

couteaux Napravil (Seitenschmittmesser), affûtés d'un côté et présentant de l'autre des arêtes fines et tranchantes placées à intervalles égaux et qui découpent en lamelles les tranches enlevées par les couteaux.

Et enfin le couteau Goller dont le tranchant présente des zig-zags, taillés dans l'épaisseur de l'acier, qui découpent les



combinaison du Goller et du Napravil, produisant des lamelles analogues aux tuiles dites faitières (Fig. 91 et 92).

Ces lamelles offrent à l'eau une grande surface de contact et ne se tassent pas dans les diffuseurs. Malheureusement l'emploi de ces couteaux n'est pas toujours possible, notamment quand il s'agit de

Au début, on les fixait dans ces lumières, mais c'est inutile ; la force d'inertie centrifuge suffit à les maintenir en place.

Recul de la ligne de coupe.

— La ligne de coupe recule à mesure que les couteaux s'usent. Pour éviter cela et pour pouvoir utiliser sur les mêmes porte-couteaux des cou-

remplace les trous ronds des couteaux par des trous oblongs ; en outre, comme les couteaux ont une tendance à reculer pendant la marche en glissant sur le porte-couteaux, Maguin remplace les trous oblongs par des entailles biaises qui empêchent le recul ; il faut naturellement pour cela que le porte-couteaux présente des trous oblongs dans le sens de la longueur des lames.

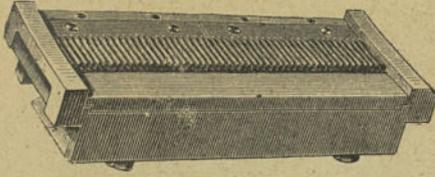


Fig. 94. — Porte-couteau.

Réglage de l'épaisseur des cossettes

On règle cette épaisseur en modifiant la position de la contre-lame

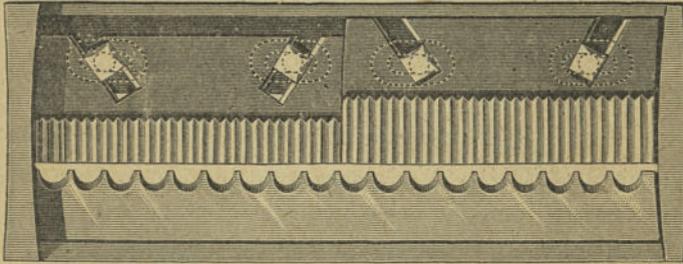


Fig. 95. — Porte-couteau épierreur.

ou celle des lames. Dans le porte-couteaux Maguin, le réglage est *instantané*. La partie inférieure de la contre-plaque a la forme d'une portion de cylindre en contact avec une surface concave que présente le porte-couteaux. Des goujons filetés vissés dans la plaque fixent la position de la contre-lame.

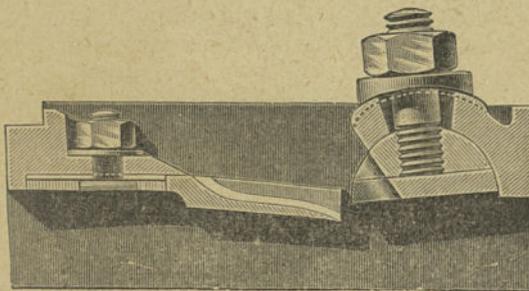


Fig. 96. — Porte couteau instantané.

Dans le porte-couteaux Putsch, les couteaux sont montés sur un siège mobile tournant autour de 2 goujons et portant deux ergots. On règle la position du couteau au moyen de vis agissant sur ces ergots.

*Contre-lame épierreuse (Steinfænger Vorlage,
Counterblade Stone Remover)*

Malgré tous les soins apportés au lavage, de petites pierres par-

viennent toujours jusqu'au coupe-racines ; pour remédier aux inconvénient qu'elles causent, la contre-lame placée en regard de la lame présente des alvéoles permettant le dégagement des pierrailles au-dessous de la lame (*Voir plus haut*).

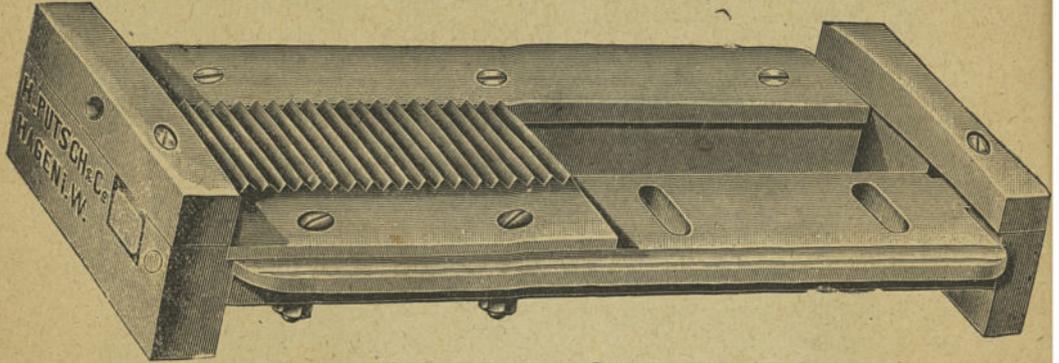


Fig. 97. — Porte-couteau Putsch.

Batterie de diffusion

Une batterie de diffusion se compose d'un certain nombre de vases, 10 à 16, d'une contenance de 12 à 100 hectolitres, fermés en haut et en bas par des portes et reliés entre eux par des tuyaux de communication allant de la partie inférieure d'un diffuseur à la partie supérieure du diffuseur suivant. On peut ranger ces vases sur deux lignes parallèles ou en cercle.

La première disposition est depuis longtemps employée en Allemagne et présente l'avantage d'exiger des bâtiments moins élevés ; en France on a longtemps donné la préférence à la disposition en cercle qui rend la surveillance plus facile et permet de faire toute le service avec deux hommes et un gamin. Actuellement on adopte encore toujours cette disposition pour les petites et moyennes batteries de sucrerie et de distillerie, mais pour les batteries très importantes qu'on installe maintenant en sucrerie, on préfère la batterie en ligne.

Dans les batteries circulaires, le coupe-racines se place au centre à une certaine hauteur au-dessus de la batterie ; la lamelle tombe dans une nochière inclinée à 45° qui pivote autour d'un axe vertical, et qu'on peut amener en face de chaque diffuseur. De là la nécessité d'un bâtiment élevé (Fig. 98 et 99).

Dans les batteries en ligne le coupe-racines se place à une extrémité de la batterie sur un massif en maçonnerie ou des colonnes, la cossette est distribuée dans les diffuseurs par une longue courroie sans fin ou par un plancher étroit sur lequel se meut un système de rateaux entraînant la lamelle qui est enfin distribuée dans les diffuseurs par de petites nochières (1 par 3 ou même 1 à chaque

diffuseur). Les avantages du transporteur à rateaux consistent principalement dans la propreté pendant le travail et dans le prix peu élevé de l'installation (Fig. 100). *cependant, les cossettes s'altèrent un peu dans ce transport.*

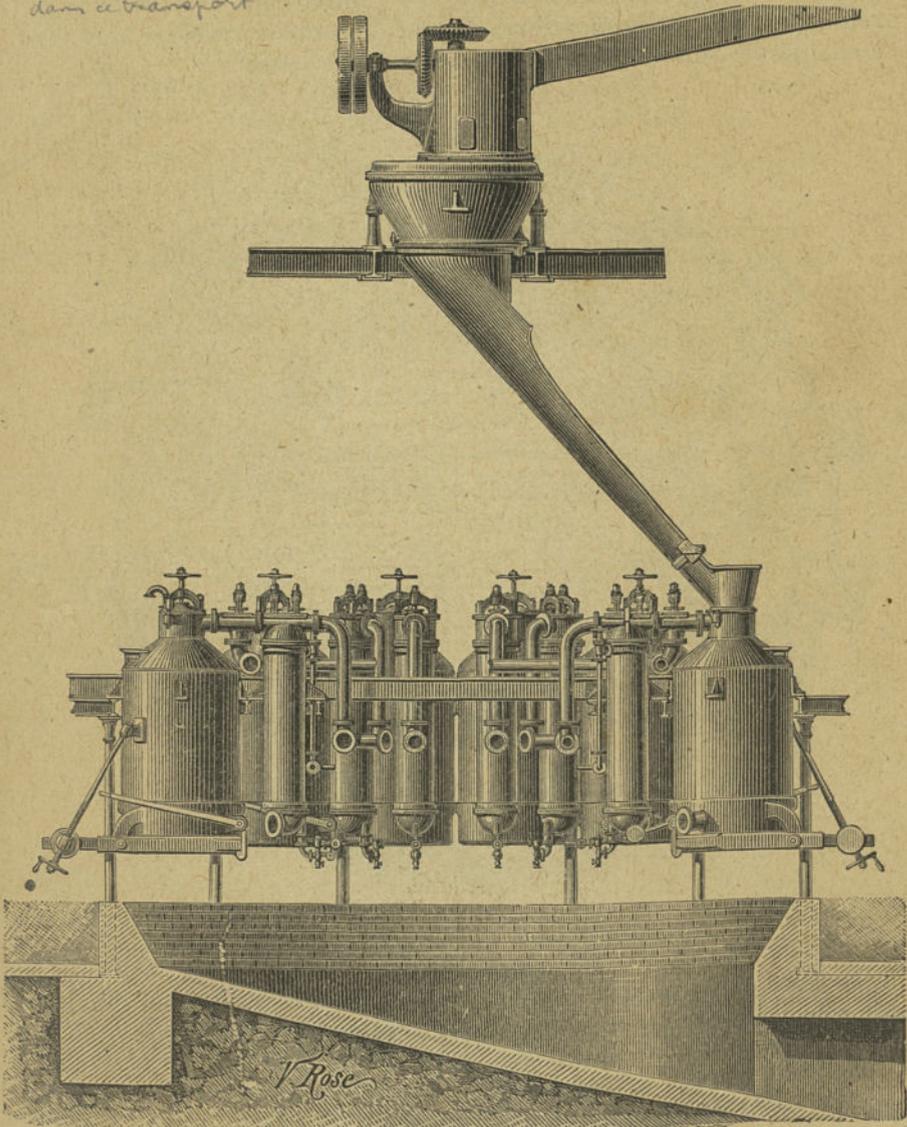


Fig. 98. - Diffusion en cercle, Vidange inférieure (Wauquier).

Le fonctionnement est le suivant : Les cossettes tombant d'une façon continue du coupe-racines A dans l'auge B sont poussées par les

rateaux vers la 1^{re} ouverture, tombent ensuite dans la goulotte d'emplissage D d'où elles glissent dans le diffuseur à remplir E. Les rateaux continuent leur chemin sur le fond désormais vide de l'auge, arrivent aux roues supportant les chaînes, les contournent vers le haut et retournent à la partie supérieure du côté du coupe-racines où les roues à chaînes les renvoient de nouveau à la partie inférieure.

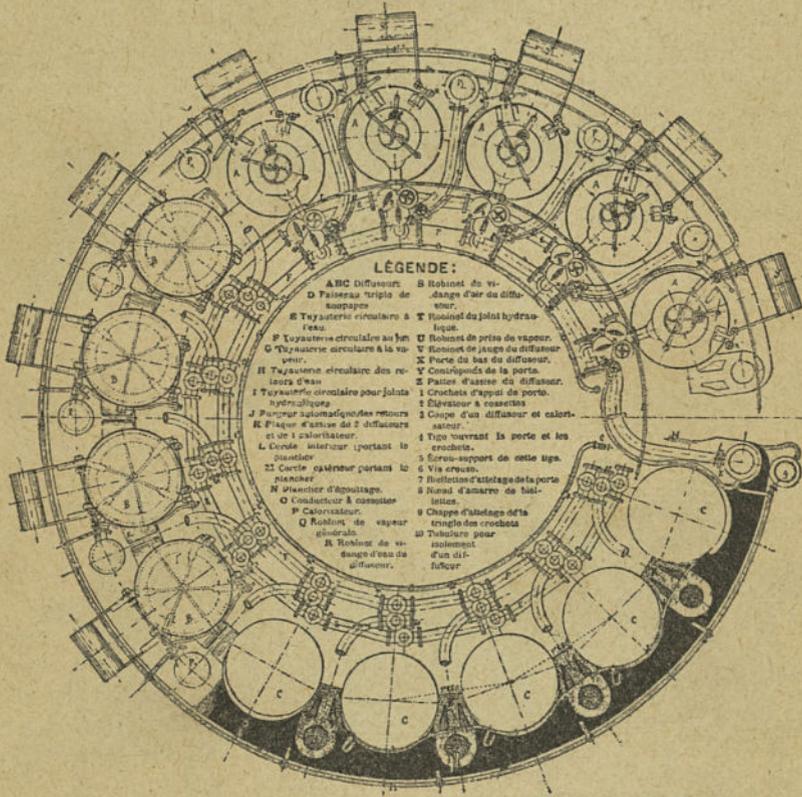


Fig. 99. — Batterie circulaire de 14 diffuseurs.

On place quelquefois le coupe-racines sur le même plancher que la diffusion ; dans ce cas la 1^{re} partie du transporteur est inclinée à 45° sur l'horizon.

Dans la fig. 101 les betteraves lavées sont élevées par un élévateur vertical, tombent dans une balance Chronos puis dans le coupe-racines installé sur le plancher de la diffusion, c'est-à-dire aussi bas que possible, ce qui donne un soubassement plus fixe et contribue beaucoup au bon fonctionnement du coupe-racines.

Chaque diffuseur est formé par une calandre cylindrique ou légère-

ment tronconique en forte tôle terminée en haut et en bas par un tronc de cône en fonte.

Le tronc de cône supérieur se termine par une partie cylindrique ouverte portant les soupapes et le couvercle en fonte fermant à baïonnette ; la pièce inférieure présente une tubulure T pour la communication avec le vase suivant, ainsi qu'une grande ouverture sur laquelle s'adapte la porte de vidange quand celle-ci se fait par le bas.

On fait quelquefois des diffuseurs entièrement en fonte, mais seulement pour la distillerie où les jus sont acides.

La conicité des deux extrémités du vase ne doit pas être trop prononcée, le liquide ayant une tendance à se mouvoir en ligne droite

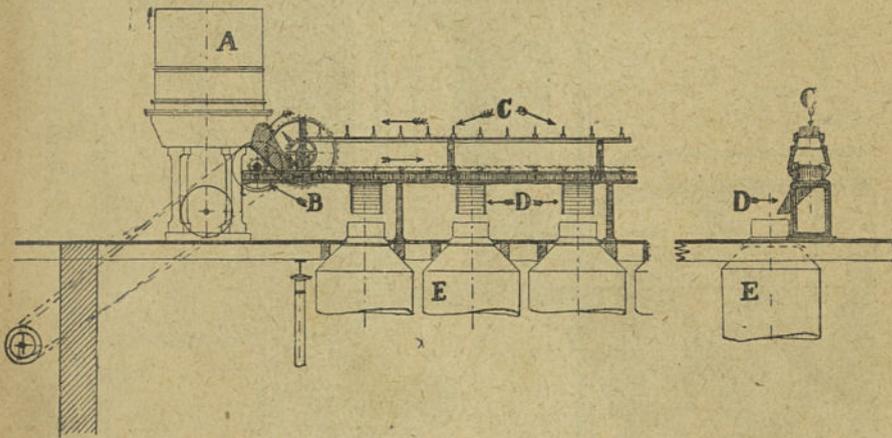


Fig. 100. — Transporteur à plateaux (ateliers de Grovenroich).

verticale, une partie s'accumulerait dans les angles et échapperait à la circulation ; par suite la cossette qui se trouverait en ces endroits ne serait pas bien épuisée.

La meilleure forme à donner est celle qui se rapproche le plus du cylindre.

Les diffuseurs à large section donnent une diffusion plus rapide, et si on profite de la facilité de circulation que donne la faible hauteur pour faire de la lamelle plus fine, on produit plus par hectolitre de capacité de diffuseur. Mais quand on augmente par trop le diamètre, d'autres inconvénients surgissent. Les lamelles s'accumulent au milieu, il se forme des creux tout à l'entour et le jus passe fort irrégulièrement, de préférence en longeant les parois où il trouve peu de résistance ; l'épuisement est irrégulier. En outre, comme on ne peut, ainsi

que nous l'avons dit, faire le fond très conique, les portes deviennent lourdes, très coûteuses et d'un maniement difficile. Pour toutes ces raisons, on adopte une hauteur un peu supérieure au diamètre, on fait au maximum $h = D \times 1,6$ au minimum $h = D$.

Le fond du diffuseur est recouvert d'un faux-fond en tôle perforée

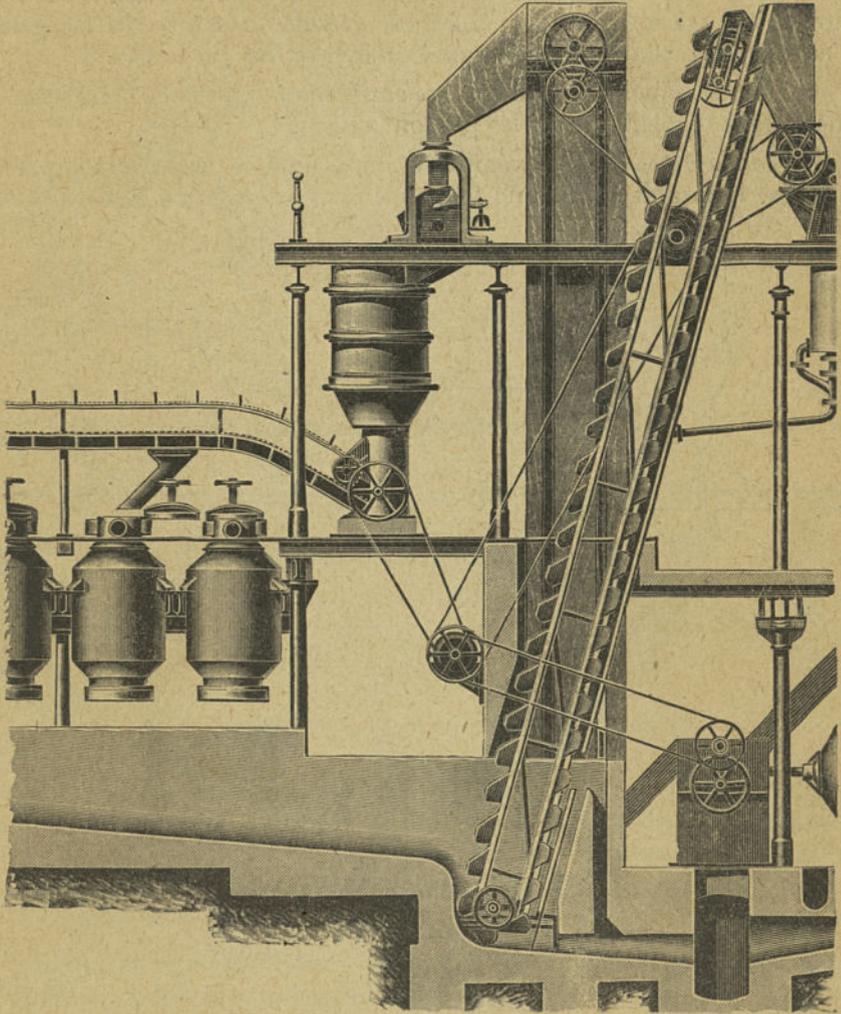


Fig 101. — Diffusion en ligne avec transporteur de lamelles en partie inclinée à 45°. Vidange des diffuseurs en dessous (ateliers de Grevenbroich).

qui garnit toute la partie conique et la porte quand celle-ci est inférieure et le fond seulement quand la porte est latérale.

La tôle perforée de la porte inférieure s'applique exactement contre la tôle perforée fixe garnissant le tronc de cône.

Joint de Dautzenberg (Schlauch dichtung ; Hydraulic rubber joint,

Avec les portes inférieures, une disposition spéciale est nécessaire pour assurer l'étanchéité. Dans ce but la porte fait joint avec le fond au moyen d'une portée conique ou cylindrique. La portée du diffuseur

présente une rainure dans laquelle se loge un caoutchouc creux gonflé par la pression hydraulique ou par la pression de l'eau distillée obtenue par la vapeur directe qu'on condense dans un serpentin ou dans un cylindre plongeant dans l'eau froide.

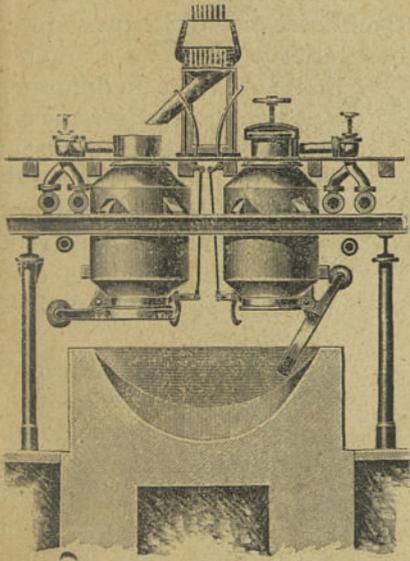


Fig. 102.

Quand la portée est cylindrique, c-a-d latérale, le caoutchouc presse sur tout le pourtour de la porte, en sorte que la pression ne s'ajoute pas à celle du liquide, comme cela a lieu quand la portée est en zone circulaire inférieure.

La manœuvre de la porte inférieure se fait par le bas ou par le haut. Dans le 1^{er} cas le levier qui soutient la porte est manœuvré par une vis à volant ayant son

point d'attache supérieur sur la paroi du diffuseur par une rotule et traversant une douille taraudée placée à l'autre extrémité du levier.

Dans le 2^e cas la fermeture et l'ouverture sont effectuées par une tige filetée traversant le plancher et une douille taraudée soutenue par une console fixée à la partie supérieure du diffuseur. Dans ce cas l'ouvrier du bas pour la vidange devient inutile et le chef de diffusion avec son aide peuvent à eux seuls faire tout le service de la batterie. Dans tous les cas, un contre-poids sert à équilibrer la porte.

L'ouverture de porte se fait par rotation autour d'un axe passant dans 2 oreilles venues de fonte avec le fond.

La porte supérieure est le plus souvent à ouverture latérale. La tête du diffuseur porte 2 oreilles dans lesquelles sont fixés 2 axes en acier maintenant une arcade ou étrier en fer ou en fonte. L'une des extrémités de la traverse forme douille ; l'autre forme fourche et permet en tirant latéralement l'étrier de faire pivoter la porte autour de l'axe et de la dégager de l'axe. Une vis de pression serre la porte en place et un joint en caoutchouc plein assure l'étanchéité.

Cette porte est en fonte et est munie d'un robinet recourbé pour l'évacuation de l'air (fig. 98).

Dans le diffuseur Senelle-Maubeuge (fig. 102) le jus s'écoule en bas par la tôle perforée D fixée sur la partie inférieure C et par la tôle circulaire perforée E fixée sur la porte F et sort finalement du diffuseur par une ouverture centrale G venue de fonte dans la porte de vidange ; un conduit radial ou diamétral l'amène dans l'espace annulaire entre C et D. Cette disposition empêche le jus de faire un chemin sur le côté du diffuseur ;

elle l'oblige à passer au centre dans l'axe du diffuseur avant de gagner le tuyau de sortie. Elle est meilleure que la porte de côté qui rend la vidange pénible et coûteuse, et surtout imparfaite et trop lente.

La disposition du caoutchouc H empêche les projections horizontales de jus ou d'eau chaude pouvant brûler les ouvriers occupés dans le bas de la batterie ou se trouvant dans le voisinage.

L'ouverture supérieure de remplissage du diffuseur est fermée par une porte en fonte I à introduction de jus centrale ; l'étanchéité en

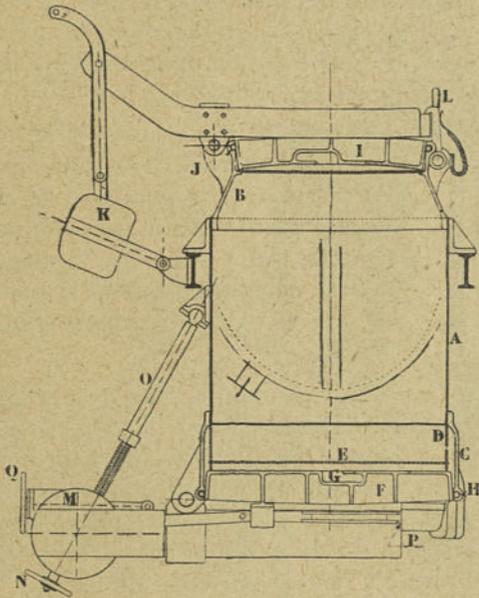


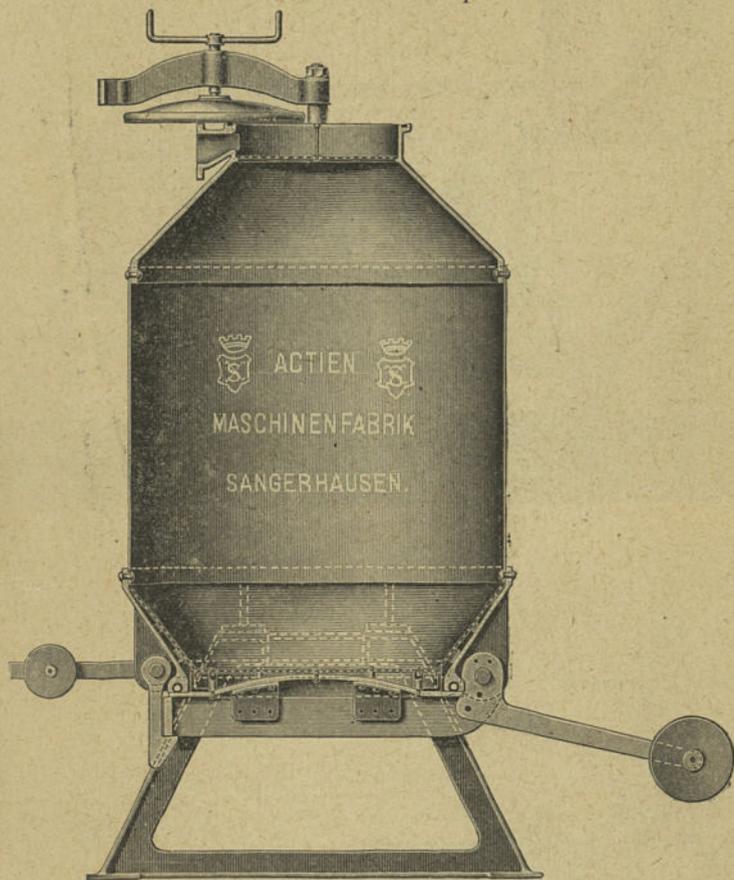
Fig. 102. — Diffuseur Senelle-Maubeuge.

est assurée par un joint hydraulique J identique à celui de la porte de vidange. Cette porte I est articulée et équilibrée dans toutes ses positions par un contre-poids K se déplaçant sous le plancher et disposé d'une façon spéciale pour assurer un équilibre constant ; sa fermeture est assurée par deux crochets L calés sur un même axe horizontal manœuvré par un levier ramené à la portée de l'ouvrier.

La porte inférieure F est articulée avec la partie inférieure du diffuseur C, et équilibrée dans toutes ses positions par un contre-poids M. Sa manœuvre s'opère par le volant N calé sur la vis à rotule O traversant un écrou placé à l'intérieur du contre-poids. La fermeture de cette porte de vidange est assurée par 2 verrous P disposés à l'opposé de l'articulation : la manœuvre de ces verrous est ramenée à portée de l'ouvrier par un système de bielle et levier actionné par l'intermédiaire d'une vis portant à son extrémité le volant Q.

Les diffuseurs des ateliers de Sangerhausen ont une partie inférieure fortement conique avec joint plein en caoutchouc ou faiblement conique avec joint hydraulique. La porte du bas (fig. 103) est entièrement équilibrée ce qui permet de supprimer la vis de manœuvre.

On construit aussi des diffuseurs avec porte inférieure sur le côté



Ftg. 103. — Diffuseur Sangerhausen.

comme dans les anciens macérateurs qui étaient de simples cuves en bois munies d'un trou d'homme et d'un faux-fond (fig. 104).

Pour ces macérateurs on se servait d'un coupe-racines avec couteaux à doigts donnant des lamelles plates qui tombaient facilement du macérateur ; mais avec les coupes-racines modernes à lames faitières, les lamelles sont longues et s'enchevêtrent les unes dans les autres et ne sortent que si on ouvre la porte du bas un peu avant ou tout au moins au moment où on laisse rentrer l'air du haut ce qui forme pression.

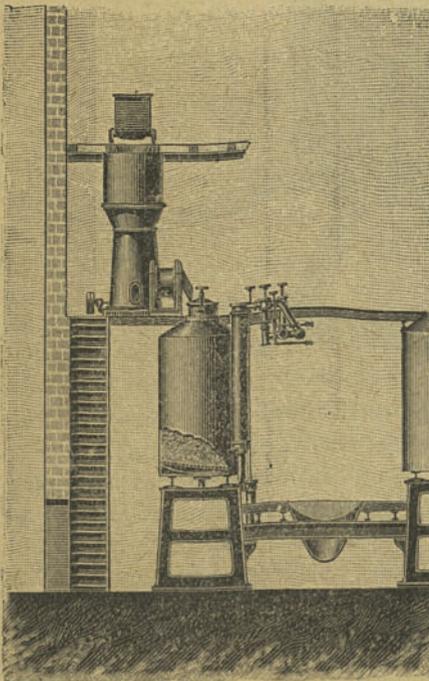
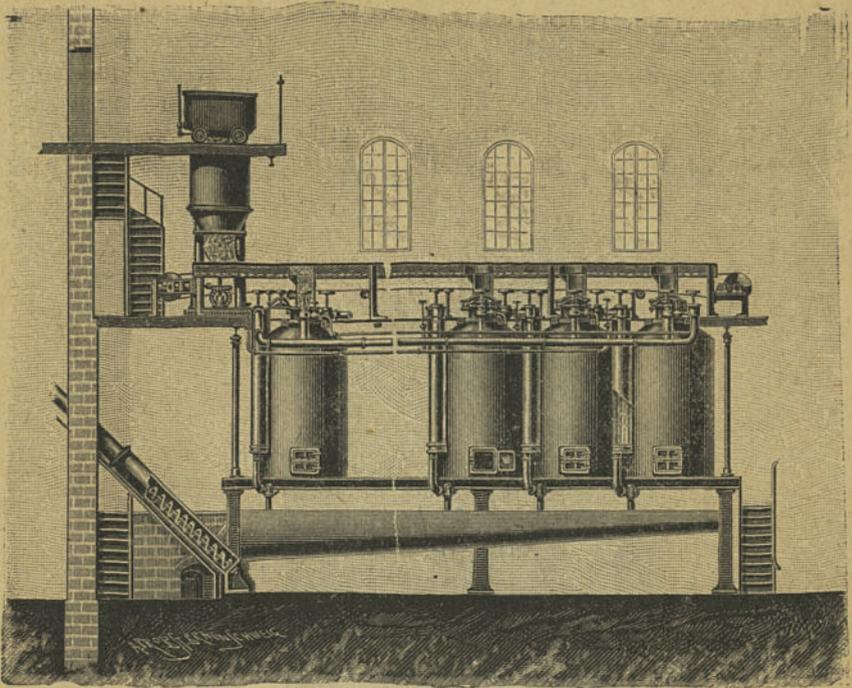


Fig. 105. — Batterie en ligne avec vidange latérale.

La vidange par le côté est donc assez laborieuse. Cependant quand on dépasse 60 hl il vaut mieux, comme cela se rencontre beaucoup en Belgique, adopter la forme filtre avec des portes latérales (figure 105). On aide la vidange des cossettes par une chasse d'eau faite au moyen d'une soupape et d'une tubulure aplatie placée au-dessus de la tôle perforée à l'opposé de la porte P. La circulation du jus se fait au centre du diffuseur.

Calorificateurs. — C'est pendant le parcours d'un diffuseur à l'autre qu'on chauffe le jus à la température convenable.

Pour cela les tuyaux de communication sont remplacés dans leur partie verticale par un cylindre muni d'un faisceau tubulaire ou d'un serpentín et portant le

nom de calorisateur ou présentent simplement un renflement à l'endroit duquel on lance directement de la vapeur dans le jus au moyen d'injecteurs.

Les calorisateurs à serpentins utilisent mieux la vapeur car dans les calorisateurs à tubes la vapeur chauffe inutilement la partie cylindrique du calorisateur lui-même.

Les calorisateurs à serpentins présentent un autre inconvénient, c'est que des fuites se déclarent fréquemment aux joints.

Les injecteurs utilisent mieux la chaleur, et accélèrent la circulation du jus dans les tuyaux de communication, par entraînement. On reproche parfois aux injecteurs de diluer le jus, mais ce reproche n'est pas fondé. D'abord, c'est dans le diffuseur chargé de cossettes fraîches que se fait l'enrichissement final et on ne chauffe plus à partir de ce diffuseur. Ensuite, en supprimant les calorisateurs, on supprime un volume important qu'on peut appeler espace nuisible de la batterie, puisqu'il est rempli d'un jus qui ne dialyse pas et qui donne par suite une dilution inutile bien plus considérable que celle que produit l'injection de vapeur. Ce système est presque général en Autriche.

Mais aujourd'hui la batterie de diffusion est généralement chauffée par de la vapeur de jus provenant de l'appareil d'évaporation et alors il faut adopter des calorisateurs à grande surface que seuls peuvent donner les calorisateurs à tubes.

Comme il faut donner à ces calorisateurs une assez grande hauteur, de 1 m. 50 à 1 m. 70, les tubes sont longs, ils subissent continuellement des écarts de température de 15 à 18° C, leur dilatation occasionne facilement des fuites à l'endroit du mandrinage ou sertissage dans les plaques tubulaires.

Pour éviter cet inconvénient, on a supprimé le sertissage dans la plaque tubulaire supérieure et on l'a remplacé par des boîtes à bourrage dont les presse-étoupes sont serrés par une contre-plaque.

Le meilleur système est celui qui consiste à remplacer les tubes droits par des tubes cintrés et mandrinés dans les deux plaques. La dilatation augmente légèrement la courbure sans défaire le mandrinage.

Dans ce système l'enveloppe du calorisateur est légèrement bombée pour laisser libre la dilatation des tubes.

Actuellement on les fait avec plaques tubulaires et tubes en acier qui coûtent moins cher que le bronze et le laiton et qui ne sont pas attaqués par l'ammoniaque.

Comme surface de chauffe on prend un nombre de mq égal au 1/5 de la capacité exprimée en hectolitres, du diffuseur, que le chauffage se fasse à la vapeur directe ou à multiple effet.

Dans ce dernier cas, on compense l'énergie moindre de la vapeur

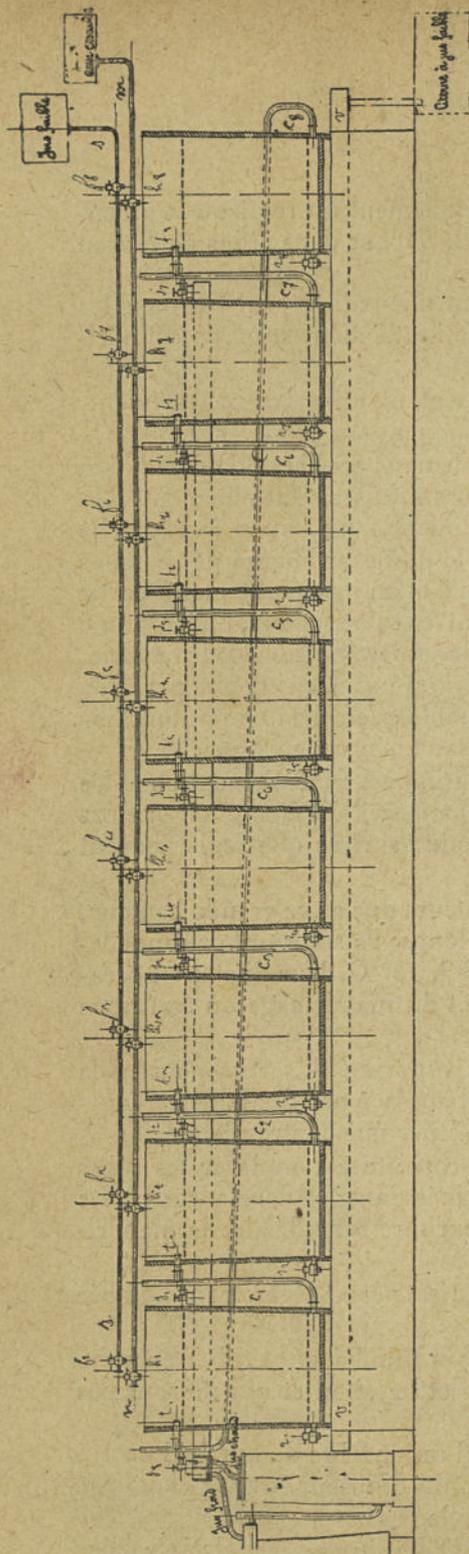


Fig. 104. — Schéma d'une batterie de macération avec rentrée de jus faibles

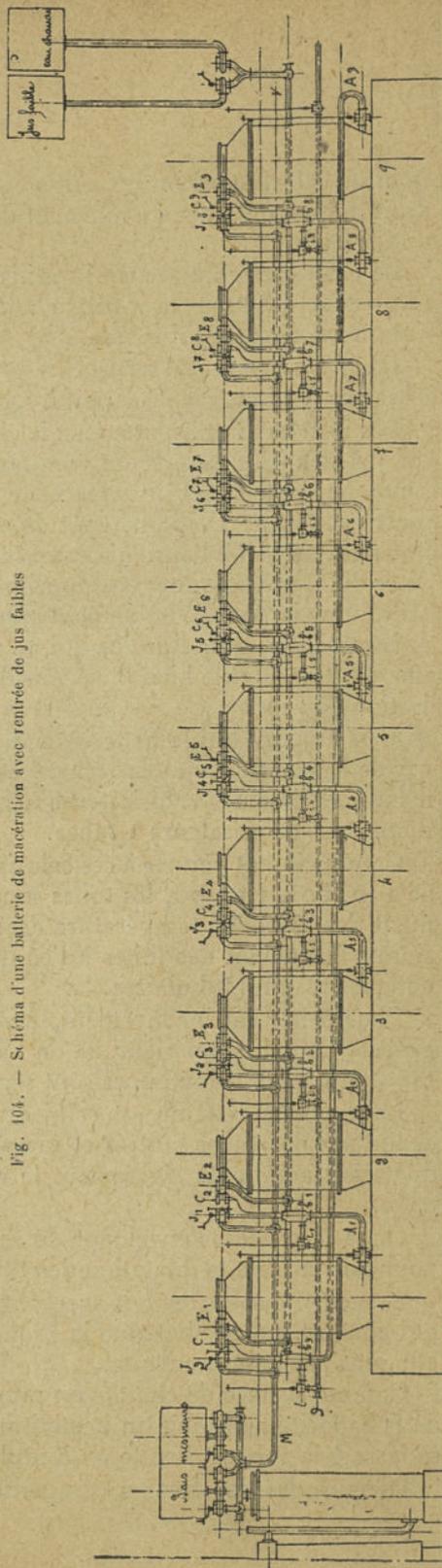


Fig. 106. — Schéma d'une batterie de diffusion avec rentrée des jus faibles et chauffage par injecteurs.

par l'emploi de l'eau chaude à 45° à la batterie au lieu d'eau froide (Vivien).

Tout le long de la batterie de diffusion courent 3 tuyautages principaux : un pour l'eau E, un pour le jus de diffusion J, un pour le chauffage V et un tuyautage secondaire R pour le retour des eaux condensées.

Un jeu de soupapes ECJ permet de faire communiquer chaque diffuseur avec ces conduites ou avec le diffuseur suivant. Des soupapes V servent pour le chauffage.

Bacs mesureurs (Mess gefässe, Measuring Tanks)

Enfin à côté de la batterie il y a un ou deux bacs MM' ayant chacun la contenance d'un diffuseur et dans lesquels arrivent les tuyaux de soutirage du jus. Pour faciliter la vidange complète de ces bacs, il est bon de les faire avec fond conique ou pyramidal.

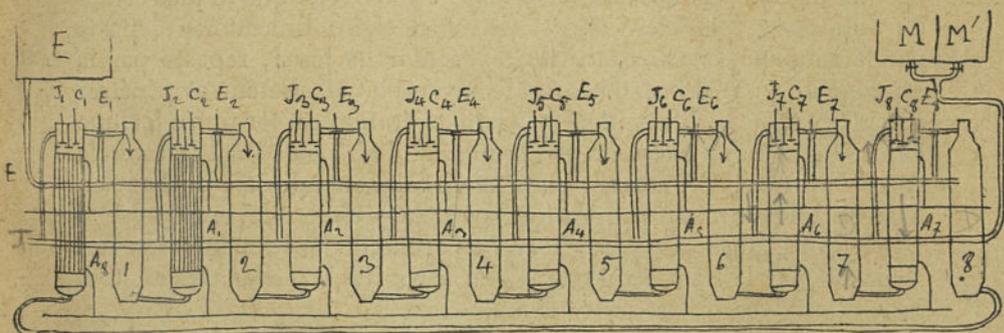


Fig. 107. — Schéma de diffusion avec colorisateurs.

Marche générale d'une batterie de diffusion

Nous avons vu qu'il faut toujours mettre en contact le jus le plus dense avec les lamelles les plus riches. Par exemple si le diffuseur N° 7 (fig. 107) vient d'être chargé de cossettes fraîches et qu'il a été meiché, opération que nous expliquerons plus loin, l'eau arrivant dans le tuyau collecteur E sous la pression du bac en charge, pénètre par la soupape E1 à la partie supérieure du diffuseur N° 1, traverse ce diffuseur en enlevant ce qui reste de sucre dans les lamelles, passe par le tuyau ou calorisateur A1, et la soupape C2 étant ouverte, tandis que les autres J2 et E2 sont fermées, pénètre dans la partie supérieure du diffuseur N° 2. Le jus qui n'est encore que faiblement sucré s'enrichit au contact de la lamelle moins épuisée de ce diffuseur et passe de la même façon dans les diffuseurs 3, 4, 5, 6, 7.

A ce moment comme le jus a passé sur des lamelles fraîches on le soutire par la soupape J8 tandis que les soupapes C8 et E8 sont fer-

mées. Il se rend par le tuyau collecteur dans celui des bacs mesureurs dont la soupape est ouverte.

Les deux soupapes C et J peuvent être séparées ou réunies directement sur le calorisateur. On peut même réunir les trois soupapes CJ et E dans une même boîte faisant corps avec le calorisateur.

Meichage d'un diffuseur (Maischen, Masking)

Quand il s'agit de remplir de jus un diffuseur plein de cossettes fraîches, l'arrivée du jus par le haut dans cette masse pleine d'air produirait une forte émulsion et il serait difficile de se débarrasser de cet air qui serait d'abord emprisonné dans la masse puis viendrait former à la partie supérieure du diffuseur un matelas entravant la circulation. Pour éviter cela on emplit par le bas ; c'est ce qu'on appelle meicher (all. meischen, angl. to mash mêler).

Cette opération se fait en fermant les soupapes de soutirage sur le bac mesureur et en ouvrant la soupape J7 de façon que le jus sortant du diffuseur n° 6 s'élève dans le tuyau de communication A6 passe par la soupape J7 dans le tuyau collecteur de jus J, repasse par la soupape J8 pour descendre dans le tuyau ou calorisateur et pénétrer par le bas dans le diffuseur n° 7. Cette opération est terminée lorsque le jus commence à s'écouler par le robinet d'air placé sur le couvercle de ce diffuseur. On rétablit alors la circulation normale de haut en bas. Ce tour de main fut pratiqué pour la première fois en 1869-70 par Schulz, fabricant de sucre aux environs de Magdebourg. Robert meichait par le haut en mettant peu à peu les lamelles pesées, tout en agitant avec un râteau en bois.

Vidange de diffuseurs. — Pour vider un diffuseur, le n° 6 par exemple, on l'isole en fermant E6 et C6 et en ouvrant E7 ce qui transporte la pression de l'eau sur le diffuseur suivant. S'il s'agit d'un diffuseur à portes inférieures, on commence par évacuer une partie de l'eau en ouvrant le robinet de vidange ; il se forme à la partie supérieure du diffuseur un vide qui arrête bientôt l'écoulement. A ce moment, on commence à desserrer la porte inférieure, puis, pendant qu'on continue de l'ouvrir complètement, on ouvre brusquement le robinet d'air placé sur la porte supérieure. La rentrée de l'air détermine un coup de bélier et toute la cossette est entraînée hors du diffuseur avec l'eau.

C'est pendant que l'on meiche le n° 7 ou si le travail est accéléré, pendant que l'on meiche le n° 8 qu'on vide le diffuseur n° 1.

La diffusion nécessite une grande dépense d'eau. Quand il y a pénurie d'eau dans une usine, on peut remplacer la pression de l'eau par la pression d'air sur le diffuseur à vider, ou encore se servir des eaux des presses ou des petites eaux qu'on a élevées dans un bac placé à côté du bac à eau (voir Schéma). On ne se sert d'air ou de petites

eaux (jus faibles) que pendant une partie du soutirage ou du meichage, pour déplacer l'eau propre introduit dans le dernier diffuseur, en sorte que ces jus faibles ne rentrent pas dans le travail. On emploie de préférence ces petits jus pendant le soutirage du jus parce qu'on a la facilité par la lecture au bac jaugeur de régler la quantité de petits jus introduits dans le diffuseur et d'éviter leur rentrée dans le diffuseur suivant, et, par suite, dans la circulation de la batterie (voir plus loin).

Soutirage (Abdruck ; Drawing off)

La circulation étant établie entre les diffuseurs 2 à 8, c'est de ce dernier qu'on procède à nouveau au soutirage du jus. Le travail se continue en mettant successivement les lamelles fraîches dans les diffuseurs 8-1-2-3, etc... et en déplaçant progressivement l'entrée

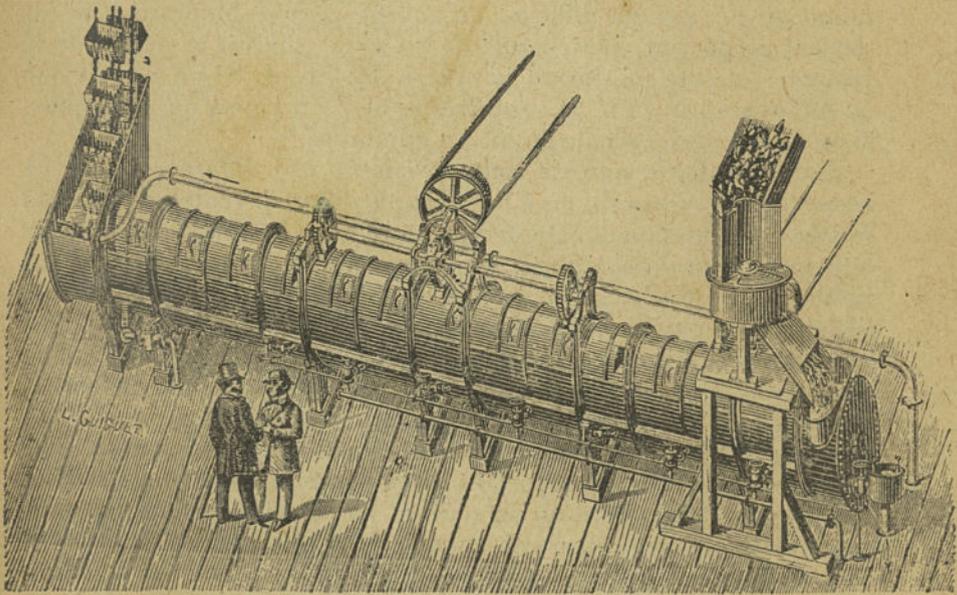


Fig. 108. — Diffusion continue Perret (essayée en 1879).

d'eau sur les diffuseurs 3-4-5-6, etc... On a cherché à faire circuler la lamelle (diffusion continue (fig. 108), à faire tourner la batterie (diffusion rotative). Tout cela est abandonné actuellement.

Observations sur cette marche classique. Il est facile de voir que cette façon de meicher et de soutirer après renversement du courant (consacrée par 40 ans de pratique 1869-1909) présente un petit inconvénient. Aussitôt le meichage terminé, le jus le plus riche se trouve en haut du diffuseur : on renverse alors le courant : c'est le jus

plus faible, celui qui a rempli le calorisateur et le bas du diffuseur qui sort le premier ; le jus le plus concentré qui se trouve dans la partie supérieure du diffuseur reste emprisonné et ne sort pas tout de suite. Il faudrait soutirer dans le sens du meichage, mais pour cela il faut monter une tuyauterie supplémentaire et murir la partie supérieure de chaque diffuseur de tôles filtrantes bien établies et à surface suffisante. On adopte surtout ce travail dans certaines batteries spécialement agencées (Gail ; Senelle-Maubeuge).

Pour éviter cela certains fabricants meichent par le haut en tenant le robinet d'air ouvert. La manœuvre du renversement de la circulation n'a lieu qu'après le soutirage au lieu d'exister avant.

Température de la diffusion. — La température a une grande influence sur la diffusion. Si elle est trop basse, l'épuisement est lent et incomplet ; si elle est trop haute, les lamelles se gonflent, la circulation du jus devient difficile, un collage peut se produire et le jus devient moins pur. On chauffe de 70 à 90° suivant la nature de la betterave et surtout suivant la vitesse du travail. Si on ne fait que 50 diffuseurs par 24 h. la température de 72 à 75 est un maximum, si on en fait 200, celle de 90 est un minimum.

S'il s'agit d'une sucrerie central^e faisant 120 diffuseurs en 12 heures on fait arriver du jus à 80° C sur le diffuseur rempli de lamelles fraîches. On maintient cette température dans les deux diffuseurs de tête après celui du soutirage ; les autres sont à des températures variables de 70-60-50°. On a ainsi un bon épuisement, on coagule l'albumine et il n'y a pas de danger de contamination (infection) dans les diffuseurs. Mais s'il s'agit d'une râperie, pour éviter les dilatations de la conduite des jus, ceux-ci doivent sortir presque froids, par conséquent il faut récupérer la chaleur qu'emporteraient les jus et il ne faut pas trop les chauffer au moment de les mettre en contact avec les lamelles fraîches, en reportant la température maximum aux 3^e et 4^e diffuseurs après celui qu'on soutire. La cossette épuisée doit toujours rester ferme, croquante sous la dent et nullement cuite. On constate souvent la température au moyen de thermomètres à cadran contenant de l'éther dits thal-potasimètres (du grec thalpos, chaleur, tasis, tension), mais ces appareils ne sont pas très sûrs, les thermomètres à mercure sont préférables. On les place sur le tuyau de communication entre deux diffuseurs consécutifs.

Pression de l'eau. — La pression de l'eau qui alimente la conduite des diffuseurs ne doit pas être trop forte, sinon, à chaque ouverture assez brusque des soupapes, il se produit un coup de bélier qui peut déterminer un collage ou des voies d'eau dans la masse des lamelles. On compte 300 mm par mètre de hauteur de lamelles traversées. Quand la hauteur est trop forte, on peut diminuer, à l'aide d'un diaphragme, le diamètre du tuyau d'arrivée d'eau. On remplace quel-

que fois la pression hydrostatique par une pompe centrifuge qui refoule directement l'eau dans la batterie ; une vanne placée à l'aspiration permet de régler le débit et une soupape de sûreté au refoulement permet le retour à l'aspiration de l'eau en excès. Ce système très simple permet de faire varier facilement la charge suivant les besoins en faisant varier la position du contre-poids sur le levier de la soupape de sûreté. Un manomètre permet de constater la pression.

On emploie d'ordinaire les pompes centrifuges à grande turbine (vitesse réduite).

Il est bon de mettre à la partie supérieure de chaque tuyau de communication un manomètre qui permet de trouver l'endroit où se produit une difficulté dans la circulation.

Les sections des tuyaux et des valves de communication doivent être telles que la vitesse ne dépasse pas 1 m. à 1 m. 50 par seconde.

Si les cossettes ne sont pas soumises à la dessiccation mais sont livrées directement aux animaux ou ensilées, il faut les refroidir complètement avant de les presser. Les cossettes pressées chaudes s'altèrent rapidement ; en outre le calorique contenu dans l'eau de vidange est perdu et enfin les pulpes refroidies se pressent mieux. Il y a donc avantage à envoyer de l'eau froide sur le diffuseur de queue pendant le soutirage. Pour arriver à ce résultat, on peut doubler la conduite de diffusion, une branche allant vers le réchauffeur et l'autre allant directement à la diffusion. Ce réchauffeur se trouve ainsi en dérivation (bye pass) sur la conduite d'eau et un robinet à 3 eaux ou une soupape à double siège permet de faire passer l'eau à volonté d'un côté ou de l'autre, mais ce qui vaut bien mieux, c'est d'installer sur la batterie 2 tuyauteries d'eau, l'une d'eau froide et l'autre d'eau chaude et 2 réservoirs en charge ou 2 pompes ; car avec une seule conduite lorsqu'on prend de l'eau pour faire tomber un diffuseur qui ne se vide pas bien, ou pour un rinçage, on fait varier la pression sur la batterie et on voit quelquefois des cossettes revenir en arrière dans les tuyaux.

Volume de jus de diffusion soutiré. — La quantité d'eau qu'il faut ajouter à 100 unités de volume à densité D pour l'amener à la densité d , en admettant pour l'eau la densité de 100, est donnée par l'équation :

$$D + v = (100 + v) \times \frac{d}{100} \quad v = \frac{100(D-d)}{d-100}$$

On fera avec ces 100 unités un volume de

$$100 + v = 100 + \frac{100(D-d)}{d-100}$$

Les 95 kgs de jus à D occupent un volume de $\frac{95 \times 100}{D}$; à la den-

sité d , ce volume sera de (il suffit de remplacer 100 par le nouveau vol.) :

$$V' = \frac{95}{D} \left[100 + \frac{100(D-d)}{d-100} \right] = \frac{95 \times 100}{D} \left(\frac{D-100}{d-100} \right)$$

Supposons une betterave dont le jus ait une densité de 1,08, soit une densité conventionnelle de 8,0, et qu'on veuille obtenir un jus ayant les 8/10 du degré densimétrique soit : $1,00 + 0,8 \times 8 = 1,064$, il faudra produire

$$V' = \frac{95 \times 100}{1,08} \left(\frac{1,08-1,00}{1,064-1,00} \right) = 101 \text{ par 100 kgs de betteraves.}$$

Le soutirage est généralement de 110 litres par 100 kilogs de cossettes.

Capacité productive d'une batterie de diffusion.

Si 100 kgs de betteraves découpées en lamelles occupent un volume de 200 litres, un hectolitre de capacité du diffuseur contiendra 50 kgs de cossettes. En tassant légèrement on peut en mettre 55. Admettons que l'on n'en mette que 50 kgs. La pratique démontre que l'on peut faire en sucrerie au moins 200 diffuseurs par 24 heures, soit 20 heures de travail effectif, soit un diffuseur toutes les $\frac{20 \text{ h} \times 60'}{200} = 6'$; certaines usines font 300 diffuseurs et même plus par jour. voir p. 615

Marche de la batterie avec circulation renversée.

La circulation classique de haut en bas est rationnelle en ce sens que le jus devient de plus en plus dense à mesure qu'il parcourt un espace plus long dans le diffuseur au contact de la betterave, mais elle présente les inconvénients suivants : 1° elle tasse les lamelles sur la tôle filtrante inférieure; 2° les gaz forment des matelas dans le haut du diffuseur. Au lieu de faire arriver l'eau sur la tête du diffuseur de queue le plus épuisé, il vaut mieux la faire arriver par en dessous, pour cela l'eau doit descendre par le calorisateur du diffuseur et remonter dans le diffuseur en soulevant les lamelles; le jus chassé par l'eau descend par le calorisateur et circule de bas en haut dans le diffuseur suivant. Il n'y a pas de changement de circulation à faire pour le meichage ni pour envoyer le jus au bac. La manœuvre des valves est simplifiée et le jus, en arrivant de bas en haut, soulève les lamelles et supprime les collages.

Avec ce système, il faut reporter en haut de chaque diffuseur toute la surface filtrante tronconique du bas. On a donné aux surfaces filtrantes du haut la forme de paniers ou de chapeaux épulpeurs; mais on a remarqué que les parties verticales perforées ne débitent presque pas

et s'obstruent très vite. Cela ne s'explique pas très bien, mais en pratique il faut compter que le débit varie suivant la projection horizontale de la surface filtrante plutôt qu'en proportion du développement de cette surface. Donc, pour que la circulation renversée réussisse, il faut de grandes portes à la partie supérieure. Quant au tuyautage, on fait arriver l'eau sur la conduite de jus qui devient conduite d'eau, E (Fig. 109) et on fait communiquer l'ancienne conduite d'eau J avec les bacs mesureurs. La circulation est renversée et va de gauche à droite si elle allait de droite à gauche par la marche classique. L'eau arrive sur le calorisateur en E au lieu d'arriver sur le diffuseur. Le soutirage du diffuseur de tête se fait du haut sans changer la marche du courant et on évite la manœuvre de la soupape du bac jaugeur.

Avec la circulation classique de haut en bas, le courant s'établit

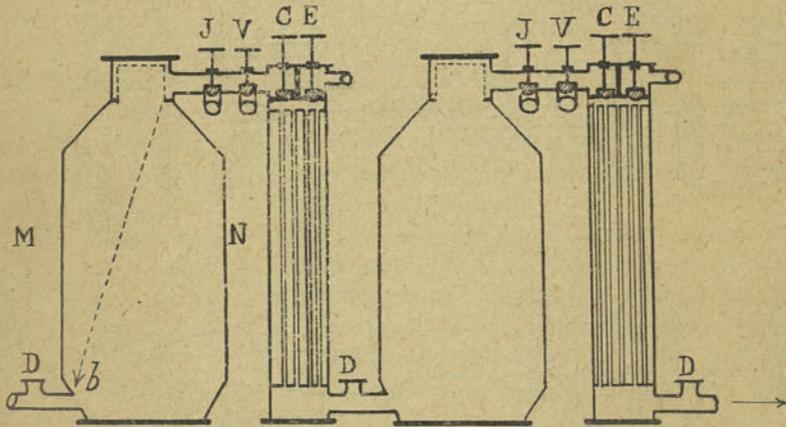


Fig. 109. - Diffusion à circulation renversée (Vivien).

en ligne droite entre l'orifice d'entrée et celui de sortie suivant a b et les lamelles sont rejetées sur le côté M où elles se tassent de plus en plus à mesure que la densité du jus baisse et le gros de la circulation se fait du côté M. Avec la circulation renversée le jus arrive constamment en dessous de la tôle filtrante du bas, passe également partout et la circulation est tellement meilleure que l'on peut faire 400 diffuseurs par 24 heures au lieu de 200. On fait un tour de batterie en 45 minutes au lieu d'une heure 1/2.

La durée de contact est de

$$\frac{24 \times 60 \times 11}{400} = 39,6 \text{ au lieu de } 79,2 \text{ (minutes).}$$

Ce travail rapide évite les pertes de sucre par altération.

S'il arrive que les calorificateurs de la batterie soient insuffisants pour un travail aussi rapide, on peut adopter le chauffage direct par la

vapeur détendue venant de l'appareil d'évaporation et entrant en D pendant que le diffuseur est en communication par V avec le condenseur. Dès qu'un diffuseur est plein de lamelles on ferme la porte du haut et on ouvre V et D. Lorsqu'un thermomètre, placé sur la conduite de tête du diffuseur, marque 40-50-60°, on ferme D et V et on fait arriver le jus pour meicher.

D'après les essais les plus récents, la circulation renversée n'est avantageuse que pour les petites batteries; pour les batteries importantes, elle est inférieure à la marche classique, les surfaces filtrantes supérieures étant toujours insuffisantes. Pour éviter que les lamelles

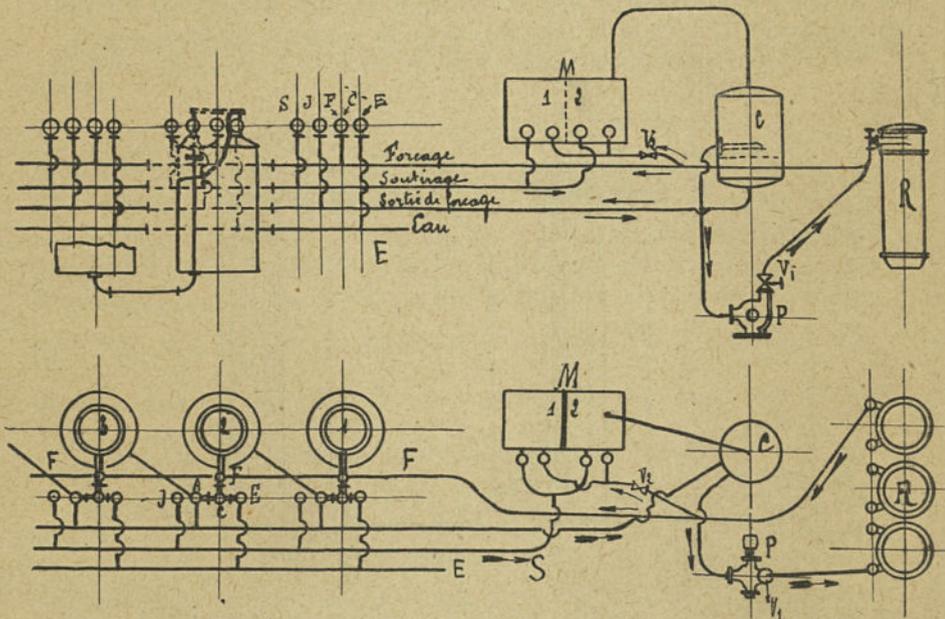


Fig. 110. -- Diffusion à circulation forcée de Naudet.

soient rejetées sur le côté des diffuseurs, tous les constructeurs disposent maintenant la porte inférieure pour que le jus passe au centre, dans l'axe du diffuseur, avant de gagner le tuyau de sortie.

Diffusion à circulation forcée Naudet. — M. Vivien, puis M. Garez ont montré qu'il fallait chauffer le plus possible en tête de la batterie, c'est-à-dire dans le diffuseur à lamelles fraîches. Le système de M. Naudet est une application de ce principe ; il consiste à amener le diffuseur fraîchement meiché à la température maximum que peuvent supporter les lamelles. L'expérience montre que pour porter les lamelles à la bonne température de diffusion, il faut faire passer sur elles trois fois leur poids de jus. Naudet exécute ce chauff-

fage par un cycle fermé à plusieurs révolutions, à l'aide d'une pompe centrifuge P (Fig. 110) et un certain nombre de réchauffeurs R (jusqu'à douze). Aussitôt le diffuseur meiché avec du jus le plus froid possible; on ouvre sur ce vase 2 soupapes (une sur la tête F et une sur la sortie du jus J) et on arrête le courant quand le jus sort suffisamment chaud. Le tuyautage de jus J, au lieu de se rendre aux vases mesureurs devient le tuyau d'aspiration meichage et se rend dans un vase spécial, le compensateur C. C'est un vase clos de forme cylindrique qui sert tout à la fois de réservoir de jus, de régulateur de travail et de densité. Il exerce à la partie inférieure des diffuseurs une contre-pression qui empêche les collages.

Il n'y a en plus du matériel ordinaire de diffusion que 2 soupapes par diffuseur (forçage F et soutirage S) communiquant avec 2 tuyauteries additionnelles F et S circulaires ou en ligne suivant la forme de la batterie.

Le diffuseur nouvellement rempli de cossettes fraîches est meiché tout à la fois avec le jus surtout du diffuseur précédant en forçage et avec le jus contenu dans le compensateur. Pendant ce temps le diffuseur n° 1 qui a été forcé précédemment pousse par sa propre pression le jus à ce même compensateur remplacer celui que lui prend la pompe pour meicher le $n + 1$ et ensuite au mesureur.

Cette manœuvre a pour but de donner toujours au compensateur le jus le plus riche de la batterie et de faire circuler par forçage le diffuseur n avec du jus approchant de la densité initiale de la betterave. La circulation ainsi faite, on arrive à chauffer le diffuseur sans enlever du sucre aux lamelles et quand celles-ci sont mises en épuisement, on obtient le maximum de sucre et de pureté sous le minimum de dilution. Deux vannes de réglage sont nécessaires, l'une V, la vanne de réglage de forçage et V₂ la vanne de réglage de soutirage (jus extrait). Ces vannes sont mises en mouvement par le chef de fabrication seul quand il veut changer la vitesse du travail.

Pour que la diffusion se fasse dans de bonnes conditions il faut que les tranches de lamelles soient toutes traversées à vitesse égale par des jus en ordre de densité constamment décroissante, sans qu'aucun arrêt se produise dans la circulation du jus. Il faut donc supprimer toute cause d'accélération mouvementée qui produit des mousses, des entraînements qui bouchent 25 à 75 p. 100 des trous de la tôle perforée, des passages aux points de moindre résistance (renards) et par suite des épuisements irréguliers. Un arrêt, si petit qu'il soit, est dangereux (les lamelles reprennent du sucre).

On reproche à ce procédé de produire des mélanges de jus dans le compensateur, de donner des jus arrivant trop chauds au chaulage, de fatiguer les ouvriers par la complication des soupapes et de laisser parfois 0, 20, à 0, 30 p. 100 de sucre dans les cossettes.

Pompe Schabaver. — Cette pompe fonctionne comme une turbine essoreuse à axe horizontale, se vidant sous l'action de la force d'inertie centrifuge, et dont la vitesse tangentielle fait acquérir au liquide de la force vive nécessaire à sa transformation en pression suffisante. L'eau sort de la turbine par une frette (fig. 111) dans laquelle on a ménagé un orifice à mince paroi, ce qui donne moins de frottement et facilite l'exécution de l'appareil tournant. Les filets liquides arrivent dans un éjecteur circulaire, dont les parois inclinées à 6° se raccordent avec le conduit spiriforme qui entoure l'appareil tournant. Ce conduit a une section progressivement croissante, depuis le point où il naît jusqu'à celui où son rôle de collecteur est achevé ; il a alors fait le

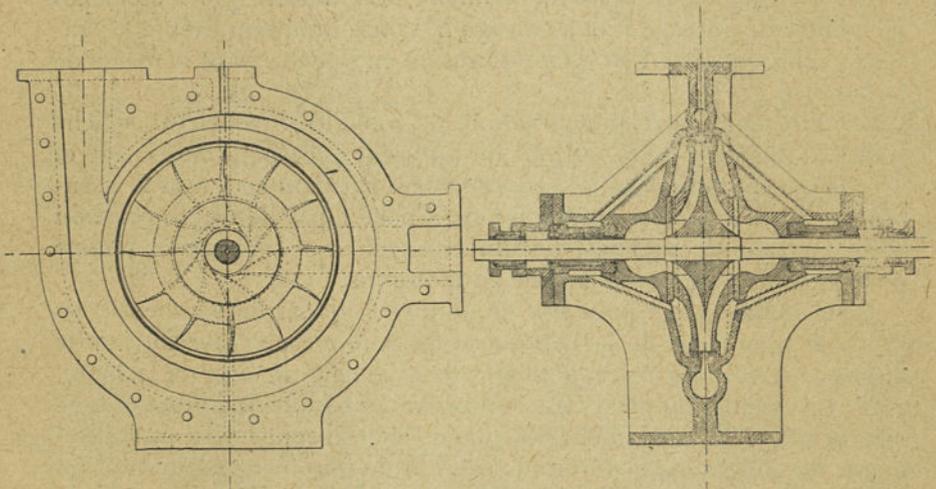


Fig. 111. -- Pompe centrifuge Schabaver.

tour de la pompe et il s'en détache tangentiellement pour devenir le tuyau d'élévation. Le liquide se trouve donc dans les conditions mêmes, de ralentissement progressif, exigées par l'application du théorème de Bernouilli, c'est-à-dire pour la transformation complète de

la vitesse en pression $\left(p = \frac{v^2}{2g} \right)$

Cette pompe donne toujours un débit et une pression constants ; en outre, les jus n'étant pas battus ne moussent pas ; enfin le rendement dynamique peut atteindre 70 p. 100 avec la commande électrique.

Pour des pompes à faible hauteur d'élévation on supprime la frette, car alors la vitesse est faible et l'exécution de l'appareil tournant est facile, en outre, grâce à l'éjecteur circulaire, le rendement dynamique de la pompe est maintenu.

Élévation et pressage des cossettes épuisées

Les lamelles épuisées ou cossettes sortant des diffuseurs tombent avec l'eau soit dans une fosse ayant la forme d'un tronc de cône renversé si la batterie est circulaire (fig. 98) soit dans des caniveaux fortement en pente s'il s'agit d'une batterie en ligne ; dans l'un et l'autre cas, elle se rend dans un puisard où se trouve le pied d'un élévateur incliné. (Fig. 101 et 105).

Élévateur de cossettes épuisées. — Schnitzel bagger, Spent pulp lift). L'élévateur à cossettes est simplement l'élévateur à godets déjà décrit mais dont les godets sont perforés ou à fourches pour laisser passer l'eau.

Pour éviter le plus possible la main-d'œuvre dans la fosse on y place parfois une hélice qui dirige les cossettes vers l'élévateur ou bien on y installe un système de bras jetteurs rotatifs mûs mécaniquement qui assure la prise régulière de chaque godet.

Actuellement on remplace ces appareils presque partout par le transport hydraulique comme pour les betteraves. Les fig. 105 et 106 montrent une batterie en ligne avec caniveaux en tôle. Comme ces caniveaux sont larges et profonds, une pente de 5 centim. par mètre suffit. Malgré la grande quantité d'eau qui accompagne les cossettes à la vidange, il est parfois nécessaire d'envoyer de l'eau à la partie supérieure de ce caniveau ; on emploie pour cela de l'eau séparée des cossettes par des tôles perforées et reprise par une pompe.

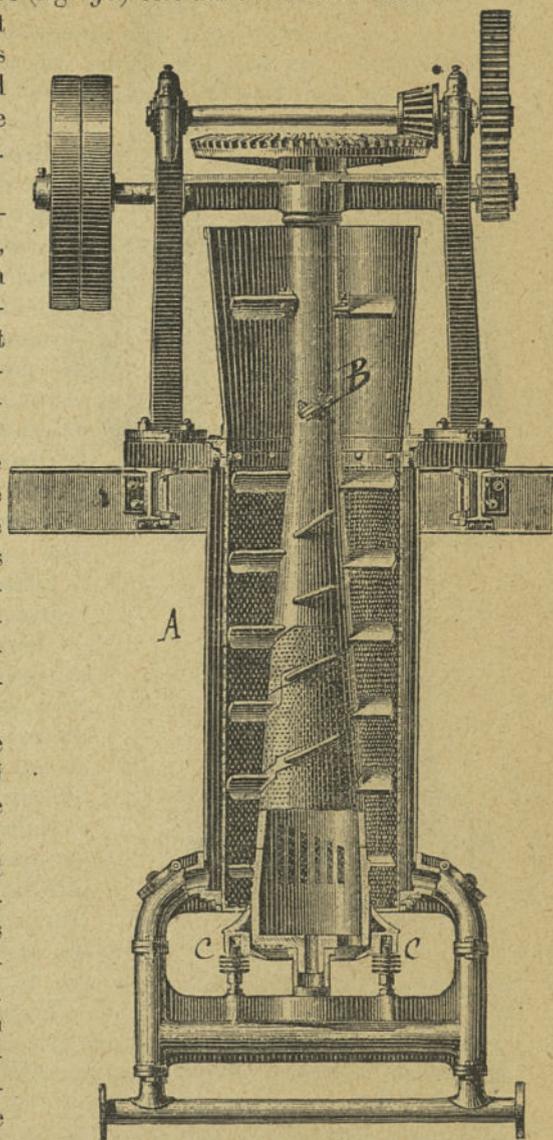


Fig. 112. -- Presse Klusemann.

En Espagne et dans les autres pays où la culture ne prend pas les pulpes, les cossettes sont envoyées au fleuve par l'eau du transporteur hydraulique qui passe sous la diffusion.

Presses à cossettes épuisées. — (Schnitzel presse, Spent pulp press). Les cossettes sont trop aqueuses pour pouvoir être livrées à l'agriculture ; on leur fait perdre une partie de leur eau en les faisant passer dans des presses spéciales dont les plus répandues sont

celles de Klusemann, de Bergreen, de Bromberg, etc., et donnent de la pulpe de 10 à 12 p. 100 de matière sèche.

Presse Klusemann. — C'est un cylindre vertical en tôle perforée AA (fig. 112), au centre duquel tourne lentement (4 à 6 tours par minute) mû par un train d'engrenages, un arbre conique creux en fonte BB armé de palettes en hélice. La pulpe tombant dans la trémie T est poussée par des palettes dans un espace de plus en plus restreint et sort par une partie annulaire étroite entre le cylindre et l'enveloppe. On règle l'ouverture de cet espace annulaire en faisant monter ou descendre au moyen de vis de rappel un obturateur conique CC. L'eau exprimée traverse la tôle perforée du cylindre et est recueillie par une culotte à 3 branches supportant la crapaudine et les vis de rappel de l'obturateur conique. Pour augmenter la surface filtrante on pratique dans la partie conique de l'arbre, entre les palettes, des ouvertures que l'on recouvre de tôle perforée.

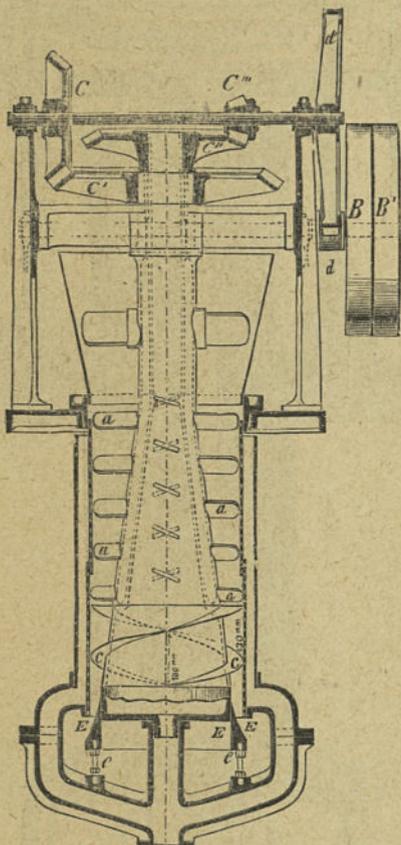


Fig. 113. -- Presse Bergreen (Hallesche, M).

Tournant à la vitesse de 3 tours $1/2$ à 6 tours par minute à l'axe vertical, cette presse absorbe un travail de 1.5 à 2 chevaux-vapeur (HP) ; elle peut presser 50 à 70.000 k. de cossettes par 24 heures et les réduire à 50 p. 100 des betteraves travaillées. Les cossettes pressées renferment 10 à 12 % de substances sèches.

Presse Bergreen. — Dans la presse Klusemann, la pulpe est plus ou moins entraînée dans le mouvement de rotation au détriment du

mouvement de translation *seul* utile, d'où perte de rendement dynamique et de capacité productive.

Bergreen place à l'intérieur de l'arbre creux un second arbre creux portant à sa partie inférieure un tronc de cône qui prolonge le premier arbre et est armé de 2 spires continues c c de pas contraire de celui des palettes en fonte a a. Les deux arbres tournant en sens inverse, les 2 rotations donnent une résultante de rotation annulée au bénéfice de la translation.

L'axe horizontal portant les poulies folle et fixe BB' commande par un engrenage démultiplicateur d'un autre axe horizontal qui à son tour, commande les deux arbres verticaux par les engrenages coniques CC' C'' C''''. L'obturateur conique est manœuvré par les vis e.

Une presse Bergreen tournant à la même vitesse que la presse Klusemann peut presser les cossettes de 120 à 150 tonnes de betteraves et donne une pulpe plus sèche.

La presse Klusemann et celle de Bergreen présentent l'inconvénient d'arracher assez fortement les cossettes. Cela a peu d'importance quand les pulpes sont consommées immédiatement par les animaux ou sont mises en silos ; mais si on les soumet à la dessiccation, le courant d'air entraîne beaucoup de pulpe très fine qui se perd si on ne prend pas les précautions voulues pour la retenir. Bergreen a remplacé les arbres coniques par des arbres cylindriques tournant dans une tôle perforée conique sur la plus grande partie de sa hauteur et cylindrique à sa partie inférieure (fig. 114).

Presse Bromberg. — Avec cette presse on peut, suivant les besoins, faire une pulpe ayant 10 à 12 p. 100 de matière sèche ou 15 à 20 p. 100 et même 30 à 35 p. 100 quand il s'agit du procédé d'ébouillan-

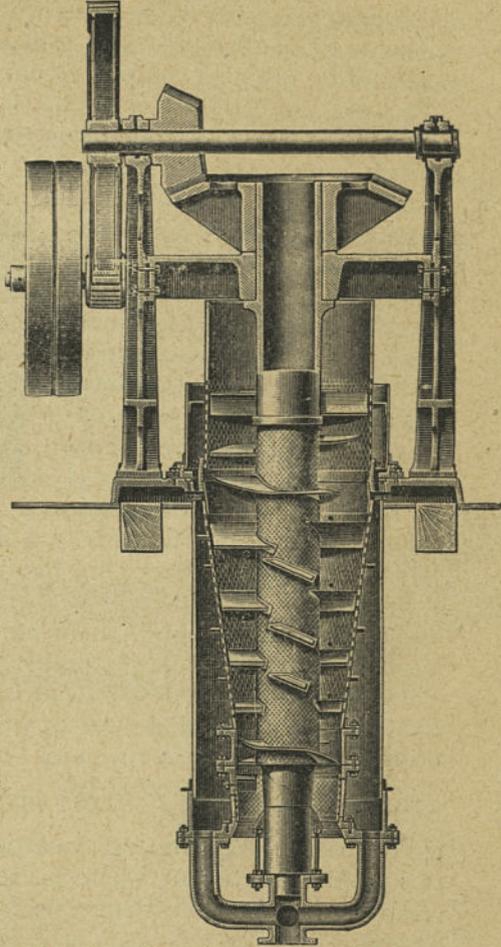


Fig. 114. -- Presse Bergreen (Construction Sangerhausen).

tage de Steffen. Sa forme (fig. 115) est celle de la presse primitive de Klusemann à arbre conique sur la majeure partie de sa hauteur et cylindrique à sa partie inférieure. Contrairement aux autres presses, dans lesquelles le soubassement est suspendu au cylindre filtrant, dans la presse Bromberg, ce sont les tuyaux d'écoulement d'eau qui servent de principal support et donnent à l'arbre un centrage très exact et bien fixe. Au lieu de laisser l'eau exprimée à la partie supérieure de la surface filtrante ruisseler à la partie extérieure jusqu'au bas de cette surface, cette eau est ici séparée. Dans ce but autour du cylindre filtrant et à mi-hauteur se trouve un anneau par lequel l'eau qui s'écoule de la partie supérieure de la tôle perforée est captée ; elle s'écoule par les tubulures placées aux 2 génératrices opposées pour descendre par les tuyaux collecteurs verticaux et se réunir à celle de la partie inférieure de la tôle filtrante. Un dispositif analogue sépare à mi-hauteur l'eau exprimée à l'intérieur de l'arbre également perforé. On évite ainsi toute réabsorption de jus par la pulpe. En outre, le jus venant de l'anneau tombant librement et en grande quantité d'une forte hauteur arrive avec une grande vitesse ($v = \sqrt{2gh}$) au bas de l'appareil qu'il rince et maintient très propre. Les tuyaux à petit jus sont reliés au bâti et à la plaque de fondation.

Dans cet appareil l'obturateur conique est remplacé par une embouchure que l'on déplace par une hélice. Plus on abaisse cette embouchure, plus est grande la surface filtrante du bas et plus est étroit l'espace par lequel la pulpe doit passer, et par conséquent plus la pression de la pulpe est énergique.

Hélice transporteuse de pulpes (För-

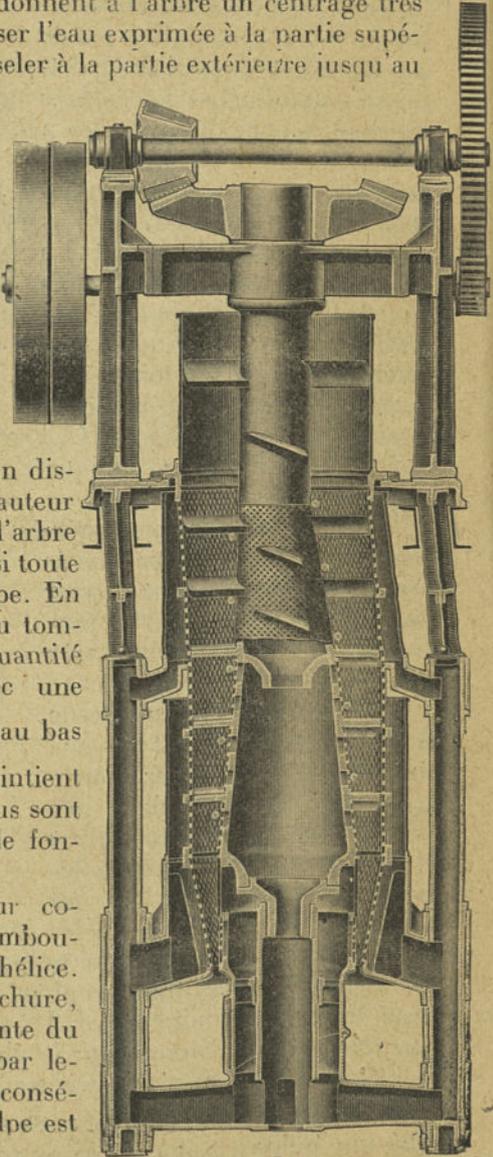
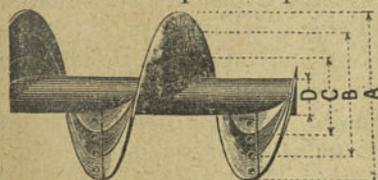


Fig. 115. — Presse Bromberg.

derschnecke ; Screw conveyer). Pour le transport horizontal des pulpes sortant des presses à cossettes on emploie fréquemment une vis d'Archimède à filets pleins. Si l'on analyse le fonctionnement de cette vis et que l'on suppose le filet partagé en différentes zones cylindriques ayant pour diamètre intérieur A B C, on voit que si l'inclinaison du filet dans la zone cylindrique comprise entre B et A est bien celle qui convient le mieux pour transporter un produit, le transport de ce produit se fait mal dans la zone comprise entre les diamètres C et B par suite de la trop grande inclinaison du filet de vis dans cette zone ; enfin le filet est tellement allongé dans la zone la plus voisine de l'arbre, que la translation de la matière ne peut pas se faire dans cette zone et que le produit y est coincé contre l'arbre de diamètre D. Gandillon évite ces inconvénients par l'emploi d'une hélice à filet évidé. Quand il y a



excès de pression sur la spire d'hélice la matière à transporter passe par-dessus le filet. On peut par suite faire tourner l'hélice beaucoup plus vite et en outre la matière est mélangée. La fig. 116

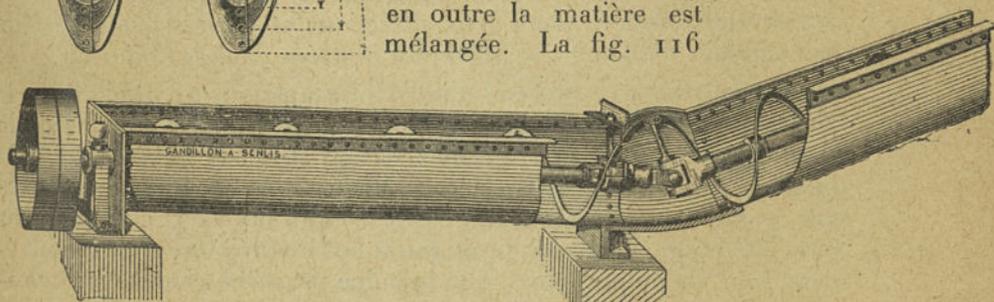


Fig. 116. -- Hélice à pulpe (Gandillon).

montre 2 hélices transporteuses conjuguées par un joint articulé universel.

Emploi des eaux résiduaires de sucrerie. — On peut distinguer ces eaux en deux groupes : 1° Les eaux des presses à cossettes et les petites eaux de la diffusion ; 2° Les eaux de lavage ordinaire des betteraves ou celles du transporteur hydraulique auxquelles viennent s'ajouter celles de lavage des appareils et de l'usine.

Les eaux du second groupe forment un ensemble qui peut être traité à la manière ordinaire, c'est-à-dire qu'après en avoir soigneusement séparé tous les débris, queues et radicules qu'elles entraînent, elles sont additionnées de chaux, décantées et envoyées aux cours d'eaux directement ou après avoir été aérées et oxydées par les lits bactériens ; comme elles renferment peu de matières organiques, l'oxydation suffit pour les épurer. Les eaux du premier groupe sont, au

contraire, chargées à la fois de matières en suspension et de matières en dissolution. Les petites eaux de diffusion renferment de 0,5 à 3 gr. de sucre par litre; les eaux des presses, 2 et 4 gr. par litre et une forte proportion de matières organiques. On sait que la chaux forme avec les matières organiques autres que le sucre un volumineux précipité qui se décante assez facilement. On a donc utilisé la chaux pour en opérer la purification avec ou sans le concours d'autres réactifs. H. Pellet conseille de les chauler à environ 2 et 4 gr. par litre et de les carbonater dans un appareil continu Naudet, Quarez ou autre. Après carbonatation on passe au filtre-pressé et l'eau est employée à la diffusion en place d'eau ordinaire. D'après Vivien, ces eaux doivent être soumises à l'ébullition pour obtenir une stérilisation complète avant leur réemploi. La chaleur employée au chauffage peut être en partie récupérée en utilisant l'excès de température à chauffer une nouvelle eau allant à l'épuration à l'aide d'échangeurs de température de façon à ramener l'eau épurée vers 50° c. D'après Pellet cette ébullition n'est pas nécessaire car, avec une épuration calco-carbonique bien faite à la température ordinaire, les eaux des presses se conservent plusieurs jours sans altérations et ces eaux n'ont nullement besoin d'attendre avant d'être rentrées dans la diffusion.

On reproche à ce procédé d'introduire un nouveau stade dans la fabrication du sucre, ce qui entraîne des frais divers et en plus de la main-d'œuvre. Pour ces raisons Claassen conseille le réemploi à la diffusion des eaux des presses et des petites eaux sans aucune épuration spéciale en les maintenant simplement à 50 à 60° c pour éviter toute altération. L'emploi d'une eau à 60° c a déjà un petit inconvénient pour les pulpes, parce que la pulpe pressée à chaud ne se conserve pas aussi bien en silos, point très important pour la culture qui reprend la pulpe; aussi cette rentrée est-elle plus à conseiller quand on dessèche la pulpe épuisée; dans ce cas il y a avantage à chauffer les eaux résiduaires à 60-70° c avant leur réemploi.

Grâce à ces procédés, on récupère une partie du sucre, on économise de l'eau, on peut réduire les bassins de décantation et on n'a pas d'ennuis avec les eaux résiduaires.

Procédé d'échaudage ou ébouillantage de Steffen (Brühverfahren, Scalding process). Les betteraves sont découpées en tranches minces (1 à 1,5 mm.) dans le coupe-racines A (construction ordinaire, couteaux à lames plates) tombent dans l'entonnoir B d'où un jet de jus chaud les entraîne par le tuyau C dans le dôme du pétrin ébouillanteur (Brühtrog, fig. 117).

L'ébouillanteur, placé horizontalement et de forme cylindrique, se compose d'une partie fermée E1 et de la partie perforée E2 à laquelle se raccorde l'hélice presseuse F inclinée vers le haut. Les

parties E₂ et F sont enfermées dans la caisse close G qui reçoit le jus exprimé. Les lamelles qui entrent en D mélangées avec 5 à 7 fois leur poids de jus à 93-97° c sont presque instantanément chauffées à 80-85° C. et sont poussées par l'hélice de l'ébouillanteur dans l'hélice presseuse H qui les soulève en les séparant du liquide et les oblige à passer par l'espace rétréci laissé par le cône H et, par suite, à abandonner une grande partie de son jus.

L'hélice élévatrice I remonte les lamelles (que l'on peut imprégner de sirop d'égout dilué (1) dans l'hélice distributrice K d'où elles tombent dans les presses L qui lui font subir une pression énergique. Les cossettes pressées tombent dans l'hélice collectrice M et sont envoyées à la sécherie par un transporteur à rateaux. Le jus qui s'écoule des presses passe d'abord dans un émousseur N puis dans un épulpeur O et arrive dans un réservoir P où il se mélange au jus de circulation qui provient de la partie inférieure de la caisse G et a traversé le désableur Q et le vase régulateur R.

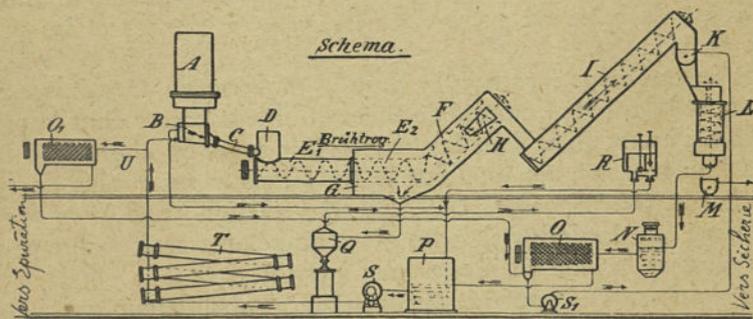


Fig. 417 — Procédé d'ébouillantage de Karl Steffen

Du réservoir P le jus est refoulé par la pompe de circulation S, à travers le réchauffeur à circulation rapide T, dans l'entonnoir à transport hydraulique B. Du tuyau de refoulement de cette pompe se détache un tuyau U par lequel le jus qui doit être envoyé à l'épuration est d'abord refoulé dans l'épulpeur O₁ et de là dans les chaudières à carbonater.

La pulpe séparée par les épulpeurs O et O₁ est envoyée dans l'hélice élévatrice I par une petite pompe centrifuge S₁.

Pour le service de l'ébouillanteur, un ouvrier suffit ; il voit d'après la température s'il arrive trop ou trop peu de betteraves, il embraye et débraye les coupes-racines, les pompes ou hélices ; il ouvre ou ferme les valves de vapeur vierge et de vapeur de jus, tout cela sans quitter

(1) Dans ce cas, il n'est plus nécessaire de faire cristalliser les égouts jusqu'à l'obtention de mélasse, on peut se contenter de faire des égouts à 70 de pureté, ce qui permet de réduire l'atelier des bas produits.

le plancher où il se tient. Le service des presses exige de 1 à 3 ouvriers suivant l'importance de l'installation. L'affûtage des couteaux plats est beaucoup plus simple et leur rechange est moins souvent nécessaire que dans le procédé de la diffusion.

Sous l'influence de ce lavage très chaud, la betterave, même gelée, au lieu de tomber en bouillie, devient résistante, pour ainsi dire caoutchoutée ; il s'accomplit instantanément une sorte de parchemination de la cellulose.

Les oxydases n'ont ni le temps, ni l'énergie pour agir et la température élevée stérilise en partie le milieu ; 2° les cellules remplissent bien leur rôle osmotique ; 3° la gelée n'a aucun inconvénient.

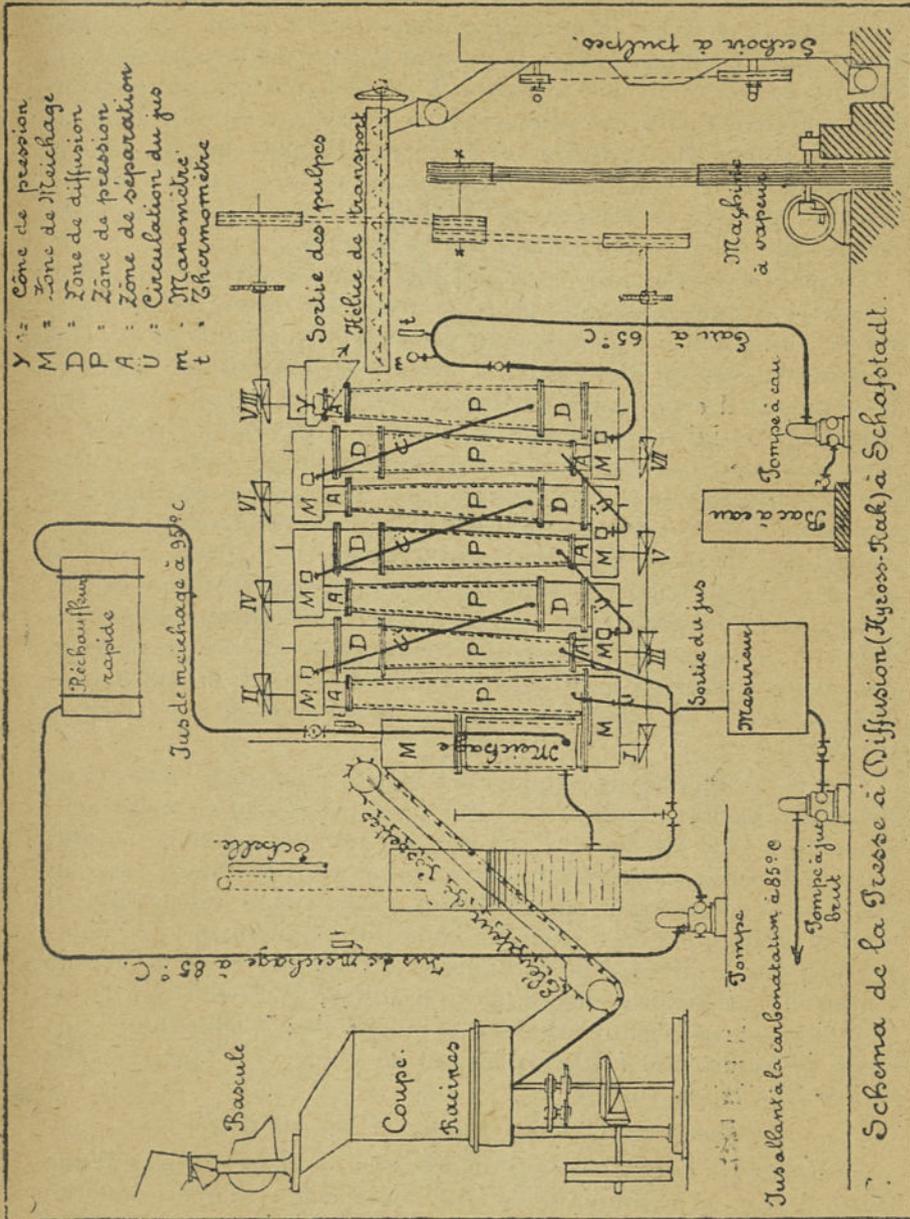
Ce procédé présente l'avantage de donner des masses cuites un peu plus pures, de pouvoir travailler avec les appareils existants un plus grand poids de betteraves dans le même temps et d'exiger moins de combustible que la diffusion avec dessiccation de la cossette. La capacité productive de l'atelier de dessiccation est également plus grande, par suite de la plus forte teneur des pulpes en matière sèche. Enfin il n'y a pas de perte de sucre dans les eaux de presses et les petites eaux de vidange.

Les inconvénients sont : la grande dépense de travail pour les presses et la grande quantité de sucre qu'il faut laisser dans la pulpe. Il est ainsi impossible, dans les temps où le sucre est cher et les fourrages bon marché, de modifier le travail pour avoir plus de sucre dans le jus. (*H. Claassen, Die Zuckerfabrikation 1908.*)

Malgré cela les industriels les plus compétents croient que ce procédé réussira le jour où il sera bien à point.

La pulpe sucrée pourrait être vendue au distillateur qui éviterait des transports onéreux et posséderait un produit utilisable toute l'année, laissant après extraction du sucre et fermentation, un produit alimentaire de grande valeur.

Procédé de la Pression-Diffusion de Hyros-Rak (Pressdiffusion). — Ce procédé d'extraction avec emploi alterné de la diffusion et de la pression a été souvent proposé, mais ce n'est que dans ces derniers temps qu'il a donné des résultats pratiques. L'appareil Hyros-Rak est continu ; il se compose (fig. 118) de 7 éléments comprenant chacun une chambre de meichage M, une chambre de diffusion D et une chambre de pression P, et reliés entre eux sans valves ni tuyaux. Dans la chambre de pression P se trouve une hélice presseuse qui presse les lamelles et les fait passer dans la chambre de meichage M formant la communication entre une presse et la suivante. Dans cette chambre de communication, les cossettes précédemment pressées sont brassées par un malaxeur à palettes avec le jus extrait par l'hélice presseuse de la chambre suivante. Les lamelles circulent dans l'appareil verticalement de bas en haut et de haut en bas à travers tous les éléments



Schema de la Presse à Diffusion (Hyros-Rak) à Schafstadt.

Fig. 118. — Procédé Hyros-Rak (d'après A. Aulard, Forest-Bruxelles).

de la batterie et sortent finalement plus ou moins bien épuisées à l'extrémité de la dernière hélice.

Les betteraves pesées dans une balance *Chronos* sont découpées en fines lamelles par un coupe-racine garni de couteaux Goller, produi-

sant des cossettes très fines de 1 à 1 1/4 m/m de côté. Un transporteur à rateaux déverse les cossettes fines dans un échaudoir vertical M ; une pompe Worthington à vapeur prend le jus dans un échaudoir, le fait circuler 4 à 5 fois de l'échaudoir à un réchauffeur et du réchauffeur à l'échaudoir. L'eau nécessaire au travail est injectée à 65° C par une pompe Worthington sur la cossette la plus épuisée dans le compartiment de communication entre les presses 7 et 8 ; elle est lavée au passage et débarrassée du peu de sucre qu'elle renferme encore dans les quelques cellules restées intactes.

Ce procédé présente sur celui de la diffusion l'avantage d'un travail continu qui supprime toutes les manœuvres des valves, les vidanges, les eaux résiduaires ; l'épuisement des lamelles s'effectue en un laps de temps beaucoup plus restreint, grâce à la pression qui facilite le lessivage, et il est possible de soutirer des jus plus concentrés. Les défauts qu'on lui reproche sont les suivants : 1° Grande dépense de travail, moteur, une machine de 150 chevaux suffit à peine pour 400 à 500 tonnes par jour ; 2° Complication de la partie mécanique de l'appareil. Une batterie de diffusion a le grand avantage qu'elle ne dépend par elle-même d'aucun appareil transporteur. On n'y emploie que des transporteurs très simples, visibles et facilement accessibles dans toutes leurs parties. Au contraire, dans le procédé de la pression-diffusion, les organes intérieurs des transporteurs, hélice presseuse et mélangeur à palettes, sont renfermés dans des espaces complètement clos, et, pour y parvenir, il faut arrêter tout l'appareil et le vider en partie.

D'après ce qu'on sait jusqu'ici des hélices presseuses, celles-ci ne travaillent bien et régulièrement que lorsqu'elles sont régulièrement alimentées, et il est douteux que ceci soit toujours possible, surtout quand l'appareil comprend huit éléments et que l'on veut obtenir un épuisement comme celui qu'on obtient généralement aujourd'hui. Il est à craindre que l'on n'atteindra jamais un épuisement aussi régulier que par le procédé de la diffusion ; 3° Usure assez grande de l'appareil, principalement des tôles filtrantes ; 4° Production de jus trop dilués et renfermant beaucoup de pulpe folle ; 5° Obtention d'une pulpe déchiquetée et faible rendement en pulpe. (*H. Claassen. Die Zucker fabrikation 1908.*)

Epulpeur (Pülpen sænger, Pulp strainer)

Epulpeur H. Koran pour jus de diffusion. — Il se compose d'une caisse A (fig. 119) munie d'un fond conique K et d'une calotte en forme de toit E formant gouttière close. Dans l'intérieur de cette calotte se trouve un tamis D à perforage fin, raclé à l'intérieur par un agitateur hélicoïdal G. Le jus de diffusion sous pression de la batterie arrive par la tubulure B dans l'espace A, s'élève jusqu'au toit du tamis

D, passe à travers ce tamis se recueille entièrement dépouillé de cossettes et de pulpes folles dans la gouttière, d'où il s'écoule par la tubu-

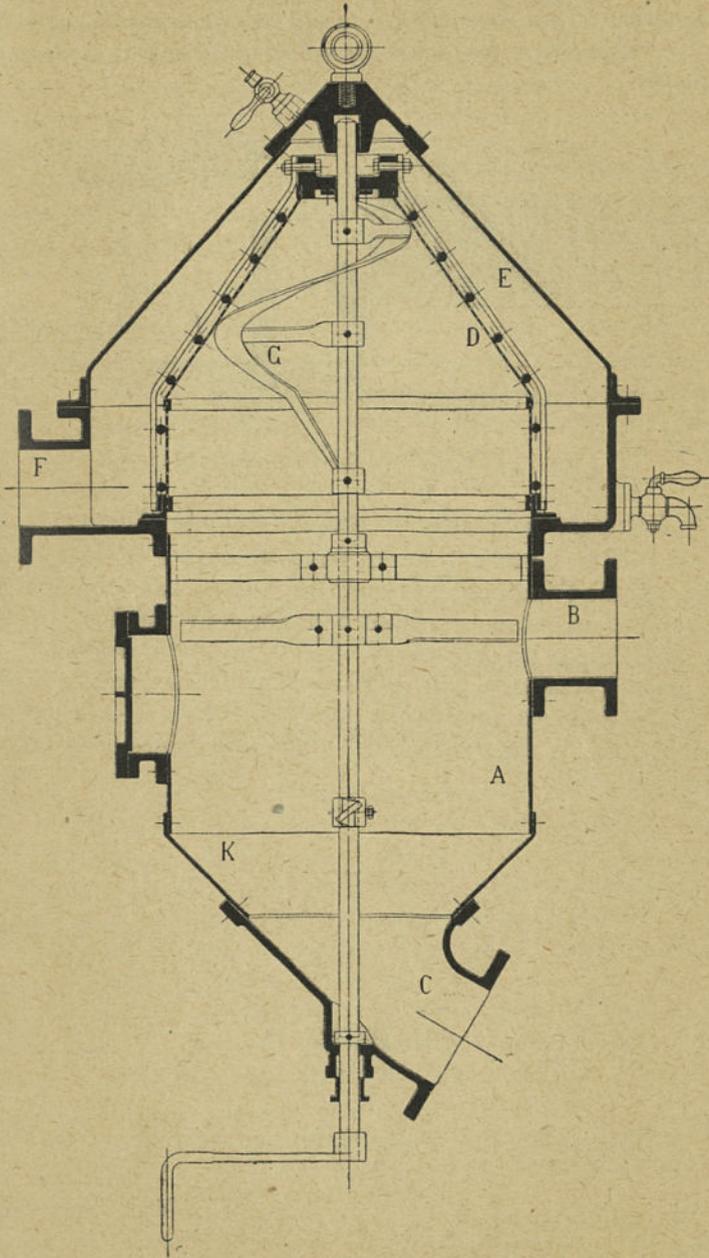


Fig. 119. — Epulpeur H. Koran (Breitfeld-Dantek).

lure F vers les appareils mesureurs. Après chaque tour de batterie on fait sortir le jus par le conduit inférieur C mis en communication

avec un diffuseur. Cette vidange se fait par la pression de la batterie ; pendant cette opération on fait fonctionner l'agitateur qui, par sa forme hélicoïdale, presse vers le bas les pulpes retenues. On renverse le courant vers le bas de sorte qu'on fait le vide dans la partie supérieure. Ce vide nettoie les tamis en enlevant toutes les pulpes qui y adhèrent.

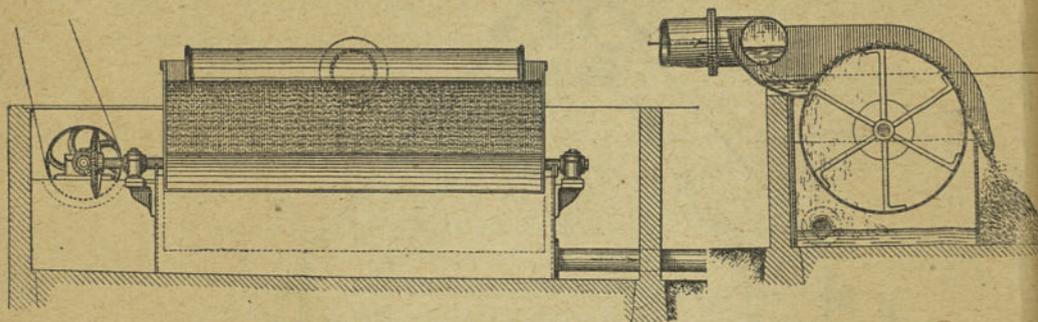


Fig. 120. — Epulpeur Wagner (construction Maguin)

Epulpeur pour eaux de presses (système Wagner)

Les eaux de cossettes entraînent des pulpes qu'il est intéressant de récupérer. Dans l'épulpeur Wagner (fig. 112), l'eau à épulper arrive à l'extérieur d'un tambour rotatif à perforation spéciale, sur lequel elle est amenée par un gros tuyau ouvert longitudinalement.

Elle passe à travers la tôle et s'écoule pendant que la pulpe folle restée à la surface est enlevée par un racloir disposé tout le long du tambour qui la fait tomber soit dans une hélice, soit en tas au pied de l'appareil.

CHAPITRE IX

Epuration des jus (Salzt Reinigung, Juice Epuration)

La fabrication du sucre de canne ayant précédé de beaucoup celle du sucre de betterave, on songea tout naturellement à suivre pour l'épuration du jus de betterave, le procédé usité pour la canne. Déjà

au 17^e siècle, on épurait en Amérique le jus de la canne en l'additionnant d'un peu de cendres, de chaux ou d'alun, chauffant vers l'ébullition et écumant le chapeau d'écume qui se formait à la surface du liquide. Le jus de la canne est par sa nature acide ; il fallait donc neutraliser cette acidité, pour empêcher l'inversion du sucre cristallisable, c'est-à-dire sa transformation en dextrose et en lévulose, c'était le rôle des cendres ou de la chaux qu'on ajoutait. En chauffant, l'albumine se coagulait et formait le chapeau. Quant à l'alun, il donnait avec la potasse des cendres de l'albumine en gelée qui facilitait le rassemblement des flocons d'albumine sous forme de dépôt à la partie inférieure ou sous forme de chapeau à la partie supérieure.

Défécation (Scheidung ; Defecation)

La chaux présente sur les cendres l'avantage de former avec les acides oxalique, malique, citrique, etc., des composés insolubles surtout à chaud : le précipité se forme donc en même temps que se produit la coagulation de l'albumine, et celle-ci forme un réseau qui englobe les sels calcaires, et les entraîne en se séparant du liquide. C'est le procédé de la défécation. Ce travail se faisait dans des chaudières à double fond chauffées primitivement à feu nu, plus tard à la vapeur, dites chaudières à défécation (Scheide pflanne ; Defecating pan).

Dans ses premiers essais de fabrication du sucre de betterave, Achard employa l'acide sulfurique pour produire la défécation. En ajoutant au jus la proportion d'acide sulfurique encore usitée actuellement en distillerie de betterave, c'est-à-dire 2 gr. 5 d'acide par litre et chauffant vers l'ébullition, l'albumine et la légumine se coagulaient et formaient un chapeau qu'on écumait. Mais le procédé était dangereux, car, par suite d'une erreur, il pouvait y avoir trop d'acide et alors le sucre s'intervertissait. On fut donc amené à neutraliser l'excès d'acide par de la craie ou de la chaux. Puis on revint à la défécation à la chaux comme on la faisait généralement pour la canne. La quantité de chaux employée était très faible : une livre ou 500 gr. par 100 k de betteraves, au lieu des 3 k 5 qu'on emploie actuellement, c'est-à-dire 1/2 % au lieu de 3 1/2 %.

Le jus étant d'abord chauffé à 70°, on y versait la chaux préalablement éteinte sous forme de lait et on mouveronnait soigneusement le mélange ; puis on continuait de chauffer lentement la chaudière à déféquer pour faire monter l'écume ; lorsqu'en écartant un peu cette écume on voyait le jus bien clair sous le chapeau, on arrêtait le chauffage. Après un instant de repos, le jus clair était soutiré par un robinet *ad hoc* placé au fond de la chaudière.

Un excès de chaux, formant un saccharate soluble, rendait difficile,

sinon impossible, la cuisson du sirop et sa cristallisation ; il fallait donc l'éviter. Mais si les betteraves étaient altérées, on était forcé d'augmenter la dose de chaux pour arriver à clarifier le jus ; de sorte que l'on flottait entre deux écueils : excès de chaux empêchant de cuire et de cristalliser ou insuffisance de chaux d'où jus troubles, colorés et sujets à la fermentation. On eut alors recours à une saturation par l'acide sulfurique de la chaux en excès. On ajoutait de l'acide sulfurique étendu de 10 volumes d'eau, jusqu'à ce que le liquide n'accusât plus qu'une faible réaction alcaline avec la teinture de tournesol.

Emploi du noir animal (Knochen-Kohle. Bone Black)

En 1811, Figuier avait observé que le noir animal avait un très grand pouvoir décolorant. En 1812, Derosne appliqua cette propriété à l'épuration des liquides sucrés. Au liquide détequé on mélangeait du noir animal en poudre fine, on ajoutait un peu de sang de bœuf et on faisait bouillir ; il se formait un précipité albumineux qui englobait le noir ; on décantait et on filtrait sur des poches en toile.

Vers 1828, Payen ayant reconnu que pour décolorer un sirop il suffisait de le filtrer sur du noir animal en grains, Dumont fabriqua des filtres consistant en des cylindres verticaux remplis de noir en grains que le liquide traversait de haut en bas.

Le noir ayant la propriété d'absorber la chaux était d'un grand secours, puisqu'il réduisait l'alcalinité quand la dose de chaux avait été dépassée.

Carbonatation. (Saturation. Carbonatation)

En 1833, Kuhlmann, alors professeur de chimie à la faculté de Lille, proposa de saturer l'excès de chaux restant après défécation par de l'acide carbonique au lieu d'acide sulfurique. Barruel, en France et Schatten en Allemagne reprirent cette idée, mais ne parvinrent pas à surmonter les difficultés techniques que présentait l'application de ce gaz à la saturation, malgré le grand avantage qu'il présente sur l'acide sulfurique. Car le sulfate de calcium est assez soluble dans l'eau et encore plus soluble dans l'eau sucrée ; le noir en grains absorbait bien ce sulfate de calcium, mais ses pores s'obstruaient rapidement et il fallait le renouveler souvent, ce qui était très dispendieux, le noir coûtant cher.

En 1848, Rousseau, fabricant de produits chimiques à Paris, prit un brevet pour un procédé de saturation par l'acide carbonique qu'il essaya à la sucrerie de Flavy-le-Martel et qui donna immédiatement de magnifiques résultats.

Procédé Rousseau. — On chauffait le jus à 56-70° C et on ajoutait 5 % de lait de chaux à 24-25° Baumé, contenant 25 k de chaux par hectol., soit 1 k. 25 chaux par 100 k. de betteraves, on portait la tem-

pérature à 80° et même, mais à tort, à 90°, puis on décantait le liquide et pressait les écumes dans des sacs en coton placés sous une presse à vis. Le liquide clair était réuni dans une chaudière, et on y faisait passer de l'acide carbonique jusqu'à saturation presque complète. On arrêtait le gaz d'après l'aspect du précipité dans la cuiller ; plus tard on se servit du papier curcuma. Il fallait laisser une certaine alcalinité que le noir animal réduisait ensuite. On filtrait sur du noir animal en grains. On produisait le gaz carbonique en injectant par une pompe de l'air dans un four à coke. Le gaz se refroidissait en passant par un tube plongeant dans l'eau d'une bêche, se lavait ensuite dans un laveur et arrivait dans une chaudière par un tuyau percé de trous. Ce procédé économisait beaucoup de noir. Voyons comment s'explique sa supériorité sur la défécation simple.

La chaux est très peu soluble dans l'eau, 1 hectol. d'eau ne peut dissoudre que 120 gr. de chaux, tandis qu'un jus sucré contenant 8 à 10 k. de sucre par hectol. peut en dissoudre plus de 10 fois cette quantité, soit 1 k. 5 par hectol. Toute la quantité de chaux ajoutée au jus dans le procédé Rousseau se dissout donc dans le jus en formant avec le sucre un mélange de sucrales monobasique et bibasique solubles.

On connaît le principe énoncé déjà par les alchimistes : les corps n'agissent que lorsqu'ils sont dissous. La chaux se dissolvant en grande quantité dans le jus sucré, agit rapidement sur les substances avec lesquelles elle peut former des composés insolubles. Elle précipite également certaines matières minérales comme l'acide phosphorique, l'oxyde de fer et la magnésie. Cette dernière à la condition que la température soit suffisamment élevée. Enfin la chaux est un agent spécifique particulièrement actif dans les phénomènes de la coagulation de la pectine, de la caséine et de la fibrine. (Le chlorure de calcium et les sels alcalino-terreux peuvent coaguler le lait à la température ordinaire).

Nous avons vu que lorsqu'on chauffe une solution de sucrate monobasique ou bibasique de calcium, ces sucrales se décomposent en formant un précipité de sucrate tribasique insoluble. Le sucrate bibasique commence déjà à se décomposer vers 80° mais cette décomposition n'est complète qu'à 100°. Il est évident qu'il faut absolument éviter cette formation de sucrate insoluble, car ce sucrate se précipitant avec les autres impuretés, il en résulterait une perte importante en sucre. Ce fait se présentait avec l'ancien système de défécation quand il y avait excès de chaux, et dans le procédé Rousseau quand on élevait notablement la température au-dessus de 80° C après l'addition de la chaux. On évitait cet inconvénient dans ce dernier procédé en n'élevant la température qu'après séparation du liquide clair de la partie insoluble, et c'est ici qu'intervient le rôle

de l'acide carbonique. Ce gaz décompose le sucrate et empêche la précipitation d'une certaine quantité de sucre, en sorte qu'on peut alors impunément élever la température.

Nous avons vu aussi que le carbonate de calcium forme avec le sucre un sucro-carbonate ; la formation de ce sel qui donne au liquide une viscosité que les ouvriers appellent fromage, pourrait également entraîner une précipitation du sucre. Mais le sucro-carbonate se forme dans les premiers moments de la carbonatation et se détruit également quand on continue l'afflux de gaz. Donc, pour éviter toute précipitation de sucrate ou de sucro-carbonate, il faut ne pas élever trop la température et ne pas séparer le dépôt, lors de la carbonatation, avant d'avoir poussé suffisamment loin l'action du gaz carbonique.

Dans le procédé Rousseau, la difficulté était de ne carbonater ni trop, ni trop peu. Si on arrêtait le gaz trop tôt, il se précipitait du sucre par chauffage ; si, au contraire, on l'arrêtait trop tard, un autre inconvénient très grave surgissait. On sait que l'acide carbonique forme avec le carbonate de calcium un bicarbonate soluble. En carbonatant trop loin, une partie du carbonate se redissout et certaines impuretés combinées à la chaux sont également redissoutes dans le jus, ce qu'on reconnaît à ce que celui-ci noircit. On laissait une certaine alcalinité que le noir animal réduisait ensuite.

Le procédé Rousseau fut longtemps employé en France, mais outre qu'il était difficile, surtout à cette époque, d'arrêter la carbonatation au point voulu, il présentait un inconvénient pratique grave, *c'était la difficulté de séparer les écumes provenant de la 1^{re} partie de l'opération, écumes qui étaient grasses et visqueuses.*

Défécation trouble (Trübe Scheidung)

En 1864, un ingénieur autrichien, Ielinek, imagina d'ajouter au jus une très forte proportion de chaux et de faire passer le courant d'acide carbonique sans séparation préalable des écumes ; c'était la défécation trouble. La chaux se dissolvait dans le jus en formant un sucrate soluble qui précipitait la majeure partie des matières faciles à éliminer, mais le carbonate de calcium en se formant englobait ces impuretés et les entraînait rapidement au fond de la chaudière où elles formaient, au lieu d'un dépôt gras, un dépôt grenu facile à séparer par filtration et même par décantation. Ce procédé se répandit rapidement en Autriche et en Allemagne. Il produisait une forte épuration des jus, mais la difficulté était toujours d'arrêter exactement la carbonatation au point voulu de façon à ne pas laisser un excès de chaux qui aurait entravé la suite du travail et d'autre part à ne pas redissoudre les impuretés précipitées. Déjà en 1859, un chimiste français, Possoz, avait imaginé de faire l'épuration en ajoutant

un excès de chaux, carbonatant immédiatement comme dans le procédé de Ielinek, *mais en séparant le dépôt d'impuretés avant d'achever la saturation de la chaux*, de façon à éviter complètement toute redissolution des matières précipitées. Il reprenait ensuite le liquide clair et carbonatait alors jusqu'à saturation presque complète. Possoz remarqua que le carbonate de calcium qui prend naissance dans le jus entraîne en se précipitant une certaine proportion des impuretés dissoutes dans le jus, cette observation l'amena à fractionner l'addition de chaux, à introduire celle-ci en plusieurs parties pendant la carbonatation elle-même ; et dans la suite il ajouta toujours une certaine quantité de chaux avant la 2^e carbonatation. Les dernières impuretés étaient ainsi absorbées par une grande quantité de carbonate de calcium et on pouvait presque impunément dépasser la limite de la 2^e carbonatation.

Ce procédé ne se répandit d'abord que fort lentement, parce qu'on ne possédait pas un instrument convenable pour la séparation des précipités.

Les perfectionnements apportés aux filtres-presses ayant fait de ces appareils des instruments de filtration très commodes, la double carbonatation devint, comme la défécation trouble, d'une application très facile, et elle se répandit dans tous les pays faisant du sucre avec la betterave. Avec les anciens moyens de défécation, l'extraction des jus par diffusion ou par macération présentait les plus grandes difficultés parce que, ces jus étant très pauvres en albumine, ne pouvaient donner naissance au chapeau, qui se forme par l'addition de la chaux et le chauffage, et qui entraîne à la surface du liquide les matières organiques emprisonnées dans le réseau formé par l'albumine coagulée. C'était l'emploi de la *carbonatation trouble* de Ielinek qui avait surtout contribué au succès de Robert dans ses essais de diffusion, et cette carbonatation trouble avait elle-même été rendue pratique par l'emploi de filtres-presses perfectionnés. La *double carbonatation* permit de réduire considérablement l'emploi du noir animal, que l'on supprima complètement dans la suite grâce aux études de H. Pellet et à l'amélioration de la betterave depuis 1884.

Remarquons que dans la double carbonatation il se forme toujours du sucro-carbonate, mais que ce sucro-carbonate est détruit décomposé par l'acide carbonique. On admet généralement que la présence éphémère de ce sucro-sel dans le jus n'est pas inutile parce que le carbonate de calcium mis en liberté par sa décomposition étant à l'état naissant absorbe les dernières traces d'impuretés.

On voit que l'épuration des jus sucrés de betterave consiste essentiellement à engager la chaux dans des combinaisons calco-sucrées qui agissent d'abord par double décomposition sur les sels et les acides de la betterave et qui, décomposés ensuite par l'acide carbo-

nique, donnent le carbonate de calcium qui absorbe les impuretés et les entraîne dans un précipité grenu facilement séparable par filtration.

Travail par double carbonatation

Chaudières à carbonater (Saturateurs, carbonatation tanks)

Ce travail se fait dans de grandes chaudières en tôle dites chaudières ou bacs à carbonater. Ils se composent d'un réservoir en tôle à section rectangulaire avec fond légèrement incliné, ou cylindrique avec fond tronconique. Il y a une vingtaine d'années, on employait encore en France des chaudières carrées ou rectangulaires peu profondes, tandis qu'en Autriche on avait des chaudières rondes très profondes. Les chaudières à section rectangulaire prennent moins de place, mais les chaudières cylindriques présentent le grand avantage d'avoir une forme d'égalité résistance, ce qui permet de supprimer toutes les entretoises qui sont indispensables avec les bacs à section carrée ou rectangulaire. En outre le liquide est toujours homogène dans toutes ses parties.

Les chaudières profondes utilisent mieux l'acide carbonique. Pour ces raisons, on emploie aujourd'hui les chaudières cylindriques ou bien rectangulaires quand on est gêné par la place, et si on ne leur donne pas une hauteur de 8 à 10 m., comme on l'a fait quelquefois, on leur donne du moins une hauteur $h = 3 \text{ à } 3,5 \times d$, soit 5 à 7 m. pour $d = 1 \text{ m. } 5 \text{ à } 2 \text{ m.}$

Le gaz carbonique arrive par un gros tuyau qui descend jusqu'au fond de la chaudière où se trouve le distributeur. Celui-ci peut être soit un simple tuyau perforé, plus ou moins contourné, soit une étoile, soit un tourniquet à gaz, soit une série de tuyaux parallèles en jeu d'orgue.

Les trous sont dirigés vers le bas dans le but : 1° d'assurer une répartition bien égale du gaz dans tout le liquide ; 2° d'empêcher les trous de s'obstruer par les boues de carbonatation.

Un excellent distributeur consiste en 4 tubes placés en croix et portant des trous latéraux d'un côté seulement, en sorte que le gaz fait tourner la masse de jus.

Un système de distribution fort employé actuellement consiste en une cloche plate à rebord inférieur dentelé, placée dans le cône inférieur de la chaudière.

Le chauffage des chaudières se faisait autrefois par un serpentin vertical ; actuellement on supprime généralement tout organe de chauffage dans les chaudières, et on les remplace par des réchauffeurs tubulaires, à circulation longue et rapide, chauffés à multiple effet par des vapeurs de jus venant du quadruple ou quintuple effet d'évaporation.

Les jus en carbonatation donnent beaucoup de mousses ; on évite en partie les inconvénients de ces mousses en laissant un grand vide au-dessus du jus, et en outre on brise ces mousses par un émousseur à vapeur ou par un émousseur mécanique. Le premier consiste en un tuyau perforé par lequel on lance de la vapeur à la surface du jus ; le second (dû à Quarez père, 1865) est formé d'un arbre horizontal à palettes qui brisent la mousse en la battant. On évite les mousses pendant le chargement de la chaudière en faisant arriver le jus par le fond de l'appareil.

Chaulage (Kalkzusatz. Liming)

Le jus à carbonater est d'abord chaulé par le lait de chaux ou par la chaux vive. Dans le premier cas le chaulage se fait dans la chaudière même ou de préférence dans un réservoir spécial muni d'un malaxeur, réservoir qui se trouve placé dans un bâtiment voisin de celui de la diffusion, ou encore mieux, on chaule dans les bacs mesureurs.

Le lait de chaux employé marque de 22 à 25° Baumé et renferme de 22 à 25 k de chaux anhydre par hectol. On ajoute ce lait de chaux dans la proportion de 6 à 10 p. 100 soit 6 à 10 litres de lait ou 1,5 à 2 k. 5 de chaux par 100 k. de betteraves. Supposons que les diffuseurs soient de 60 hectol. chargés de 55 k. de cossettes par hectol., soit 3300 k., supposons en outre qu'on tire 11 hectol. de jus par tonne de betteraves, soit dans notre cas $33 \times 1,1 = 36,3$ hectolitres. Chaque fois que le chef de batterie a fait un soutirage au bac mesureur, de 36 hectol. de jus, il prévient par un coup de sonnette l'ouvrier de mettre la chaux dans le mélangeur ou le bac mesureur. Ces 36 hectol. sont évacués des bacs mesureurs dans le mélangeur où l'ouvrier chauler ajoute le contenu d'un petit bac à lait de chaux, qui sera dans notre cas de $8 \times 33 = 264$ litres, s'il n'a pas déjà chaulé dans les bacs mesureurs.

On règle la proportion de lait de chaux de façon qu'on trouve dans le mélange par l'alcalimètre 2 k. à 2 k. 5 de Ca O par hectolitre.

Il reste donc toujours dans le bac mélangeur une provision de jus qui subit l'action de la chaux à froid. Le jus chaulé est envoyé par la pompe à jus chaulé dans les bacs à carbonater, soit directement, soit indirectement en passant par des réchauffeurs tubulaires où ils sont portés à environ 70-75° par des vapeurs provenant du 2° corps du quadruple effet d'évaporation.

Si le chaulage se fait dans les chaudières, on ajoute le lait dès que la chaudière est à moitié pleine, à l'aide de petits bacs mesureurs, placés au-dessus des chaudières et immédiatement on injecte le gaz carbonique. Si le chauffage se fait également dans la chaudière, en

même temps qu'on injecte le gaz, on introduit de la vapeur dans le serpentin de façon à avoir 80 à 90° C à la fin de l'opération. On reconnaît que cette fin approche lorsque, prenant un échantillon dans une louche en fer, on s'aperçoit que le précipité se dépose rapidement, en laissant surnager un liquide limpide. On arrête alors le courant de gaz, puis on sépare le liquide clair du dépôt d'écumes. Primitivement ce travail se faisait en laissant reposer le liquide dans des bacs placés en contrebas des chaudières à carbonater et qu'on appelait décanteurs ou *bacs à décanter* ; le dépôt seul était filtré. Ce système présentait le grave inconvénient de laisser refroidir le liquide et de provoquer la redissolution d'une partie des impuretés.

Cette opération fut supprimée en France en 1871 par R. Quarez dans sa sucrerie, mais la plupart des fabricants la conservèrent jusqu'en 1885. Actuellement on envoie tout le liquide trouble directement aux filtres-presses. Le jus clair de 1^{re} carbonatation est additionné de 2 à 4 pour 100 de lait de chaux, soit 0,5 à 1 p. 100 de chaux par hectolitre et soumis à une 2^e carbonatation qui, si le travail est bon peut être poussée jusqu'à ce que toute la chaux soit éliminée. Si la chaudière est munie d'un serpentin, on fait ensuite bouillir un instant.

Le jus de 2^e carbonatation est envoyé à son tour dans une autre série de filtres-presses.

Contrôle de la fin de l'opération. — Il importe qu'à chaque opération on arrête le courant de gaz au moment convenable.

Si on laisse trop de chaux dans le jus de 1^{re} carbonatation, la filtration se fait mal, on abîme les *toiles* des filtres-presses, et le jus s'écoule trouble ; si on pousse trop loin la carbonatation, le jus noircit par suite de la redissolution d'une partie des impuretés organiques.

L'essai à la cuiller permet de saisir à peu près le moment où il faut arrêter la carbonatation. Mais ce moyen empirique ne doit servir qu'à donner une première indication, et il est préférable de recourir à un moyen chimique pour juger de l'alcalinité finale. Cette alcalinité finale doit être aussi forte que possible pour que le précipité se fasse bien et se presse bien dans les filtres-presses. Moins on a mis de chaux, moins on peut en laisser et inversement. Pour arrêter sûrement l'opération avec une alcalinité comprise entre ces limites, le mieux est de faire rapidement un essai alcalimétrique, au moyen d'une liqueur acide dont 1 cmc représente 0 g. 02, 0 g. 01 ou même 0 g. 005 de chaux, c'est-à-dire une liqueur renfermant par litre 35, ou 17 g. 50 ou 8 g. 75 d'acide sulfurique monohydraté. Pour mesurer l'alcalinité à la 1^{re} carbonatation, on peut se servir indifféremment du tournesol, d'acide rosolique ou de phénol phtalique.

Pratiquement, on peut admettre qu'on doit en laisser le 1/20. Ainsi du jus entrant à la carbonatation avec 2,4 p. 100 de chaux

donnera du jus clair et facile à filtrer ayant $2,4 : 20 = 0,12$ de chaux, soit 120 gr. par hectol.

On dose également l'alcalinité des jus de 2^e carbonatation ; celle-ci est le plus souvent équivalente à 20 à 40 gr. de chaux par hectol. Mais quand on veut doser l'alcalinité de ces jus avec une certaine précision comme on le fait au laboratoire, il faut éviter d'employer les indicateurs colorés mentionnés ci-dessus et se servir de préférence du papier de tournesol préparé en appliquant de la teinture concentrée de tournesol sur du papier collé, car les réactifs colorés tels que la phtaléine, l'acide rosolique, etc., sont influencés par l'acide carbonique mis en liberté et on obtient un résultat beaucoup trop faible qui peut facilement ici faire commettre des fautes dans le travail à l'usine pendant l'essai alcalimétrique. Les sulfites également décolorent la phtaléine.

On exprime toujours l'alcalinité d'un jus carbonaté en grammes de chaux, par litre en France et par 100 cc à l'étranger, mais cette alcalinité n'est jamais uniquement constituée par de la chaux ; l'alcalinité d'un jus de 1^{re} carbonatation est due en partie à de la chaux et en partie à d'autres alcalis : la potasse, la soude et l'ammoniac ; quant aux jus de 2^e carbonatation, ils peuvent ne contenir que des traces de chaux quand le travail est bon, et l'alcalinité tout entière peut être due à la potasse, à la soude et à l'ammonia ou aux carbonates de potassium et de sodium résultant de l'action de l'acide carbonique sur les bases potasse et soude primitivement combinées aux acides malique, citrique, tartrique, oxalique, phosphorique, etc., mis en liberté par la chaux. Ce fut une erreur longtemps répandue dans les usines, qu'il fallait laisser une certaine quantité de chaux dans les jus de 2^e carbonatation ; en réalité il faut une certaine alcalinité, mais il n'est pas indispensable qu'il y reste de la chaux. On a même conseillé de se servir d'une solution d'oxalate d'ammonium pour déterminer la fin de la 2^e carbonatation. Ce moyen est excellent ; malheureusement il se produit souvent, surtout à la fin de la campagne sucrière, des sels de calcium solubles indécomposables par l'acide carbonique, le métapectate de calcium par exemple, et alors on s'exposerait avec ce réactif à prolonger inutilement la carbonatation. Mieux vaut recourir à un simple essai alcalimétrique.

Température du chaulage et de la carbonatation

En France, on admet généralement que le chaulage à froid du jus de diffusion est celui qui procure le maximum d'effet utile, à la condition que la durée de contact soit la plus longue possible. À froid les matières pectiques se transforment en pectates de calcium insolubles, la combinaison commence à 15-20° et se continue lentement à chaud, à la condition qu'on n'élève pas la température au-delà d'une

certaine limite ; quant aux matières albuminoïdes végétales, leur coagulation et leur décomposition s'opèrent en présence de la chaux et sous l'influence d'une température portée successivement à 70-75° en 1^{re} carbonatation, 90-95° en 2^e carbonatation et 105-100° dans le premier corps de l'évaporation. On peut dire que le chaulage est fait à froid, au lait de chaux ou à la chaux vive, quand on n'atteint pas la température à laquelle se produit la *défécation*, c'est-à-dire à laquelle se décomposent certaines matières organiques et se coagulent les albumines. On a de même remarqué dans le traitement des extraits d'écorce de saule ou de peuplier en vue de la fabrication de la salicine, que l'action de la chaux est d'autant meilleure que le jus est plus froid.

On fait aussi quelquefois la carbonatation à froid, c'est-à-dire au-dessous de 70°, mais outre que l'opération est très lente, il est difficile de reconnaître le point limite de la carbonatation et les écumes sont grasses. La carbonatation à froid était surtout en faveur au temps où l'on opérait encore avec les presses ; les jus provenant de ce travail étaient toujours chargés de pulpes folles dont les matières pectiques se transformaient par la chaleur en métapectates de calcium solubles. Aujourd'hui on préfère généralement une carbonatation faite à une température de 80°, qui est plus rapide et vers la fin on pousse à une température voisine de 100° pour avoir des écumes plus sèches un point de carbonatation plus facile à saisir, et mieux assurer l'élimination de la magnésie.

Actuellement on chauffe généralement les jus verts de diffusion, les jus de 1^{re} carbonatation et de 2^e carbonatation à multiples effets au moyen des vapeurs provenant de l'ébullition des jus dans la 1^{re} et dans la 2^e caisse du quadruple ou quintuple effet. Quand on fait le chaulage à froid on mélange pendant une heure dans des malaxeurs et on fait passer le jus chaulé dans des réchauffeurs tubulaires où on le porte rapidement à 70-75° C.

Dans beaucoup de sucreries, surtout en Allemagne et en Autriche, on fait le chaulage à chaud selon Ielinek, comme nous l'avons déjà dit pour la défécation trouble. On fait donc ainsi une défécation suivie d'une double carbonatation. Il ne semble pas que cette méthode soit, au point de vue de l'épuration, supérieure à la double carbonatation qui a l'avantage de donner des jus moins colorés. Le réchauffage à 85° est indispensable quand on veut faire le chaulage à la chaux anhydre dont il sera question plus loin, pour éviter l'emploi du lait de chaux. La chaux ne s'éteint pas dans le jus à basse température. En chauffant le jus vert non chaulé on constate parfois que les réchauffeurs s'encrassent ou qu'il s'y produit une certaine inversion du sucre. Cette destruction de sucre, très différente suivant les années ou les contrées, résulte de la trop grande quantité d'amides dans la

betterave, conséquence de la non-maturité des racines, d'années trop pluvieuses, ou d'un engrais forcé irrationnel. Le danger d'inversion par l'asparagine devient visible à 62° environ et désastreux à 100°. Quand on a de pareilles betteraves, il faut maintenir la température la plus basse possible dans les diffuseurs et les réchauffeurs, et neutraliser si possible, dans ces réchauffeurs avec du lait de chaux en contrôlant la neutralité avec la phtaléine du phénol. L'asparagine et la glutamine peuvent rendre libre la pectine du marc de betterave, surtout dans le réchauffeur si une certaine quantité de pulpe y est entraînée.

Dans tous les cas, si la prolongation du contact du jus avec la chaux ne produit que de bons effets à froid, il n'en est pas de même à chaud ; dans ce cas, les jus se colorent progressivement et la quantité de sels de calcium restant après épuration augmente ; le glucose donne du glucate de calcium, la pectine donne du métapectate de calcium, les matières albuminoïdes sont transformées en alcali-albumines, matières incoagulables. Il ne faut donc pas chauffer les jus bruts avant la carbonatation en présence de doses massives de chaux à haute température. Le jus de diffusion étant très légèrement acide, on a songé à neutraliser cette acidité dans les diffuseurs. On a proposé le bicarbonate de sodium et la craie pulvérisée. Mais les alcalins ou alcalino-terreux neutralisent le suc gastrique des animaux qui dépérissent.

Carbonatation continue (Stetige Saturation ; continuous carbonation). — Les bacs à carbonater prennent une place considérable et contiennent une quantité énorme de jus proportionnellement à la quantité journalière à traiter. En outre, les jus moussent beaucoup, l'absorption du gaz est lente et les points d'arrêts sont irréguliers. Bien souvent l'ouvrier, afin de pouvoir suivre le travail de la diffusion, fait un usage exagéré de graisse et de vapeur pour combattre la mousse ; il s'efforce d'obtenir des ouvriers préposés au chaulage des jus que la dose de chaux soit diminuée (au détriment de l'épuration). Ensuite dans le but d'assurer le passage facile du jus aux filtres-presses, le carbonateur pousse souvent trop loin la saturation de la chaux, d'où redissolution d'une partie des impuretés.

On a cherché depuis longtemps à faire la carbonatation continue. On s'efforça d'abord d'utiliser le matériel existant, en faisant des combinaisons de chaudières en communication. Dans ce système le jus parcourt successivement chacune des chaudières munies d'un barboteur à gaz, se rendant par trop plein de l'une dans l'autre. Le gaz est distribué dans les chaudières pour que la préparation se fasse dans la première et l'achèvement dans la dernière. L'alcalinité est, avec un peu d'attention, obtenue assez régulièrement ; mais les inconvénients de la mousse ne sont pas radicalement supprimés et la lenteur de la réaction, due à l'utilisation défectueuse du gaz, est souvent l'obstacle

qui s'oppose à l'emploi d'une forte proportion de chaux. On comprend facilement les difficultés que présente la conduite d'une carbonatation continue composée de plusieurs vases, si l'on considère les phénomènes successifs de l'épuration calco-carbonique faite dans une chaudière simple.

L'opération se divise en 3 périodes : 1° Dès que le gaz est introduit, on voit le jus s'épaissir et se soulever difficilement pour laisser passer le gaz ; une mousse compacte et abondante envahit tout l'espace libre de la chaudière, menaçant de s'épancher au dehors, si l'on ne s'y oppose en modérant l'injection du gaz et en émoussant au moyen de graisse et de jets de vapeur. Examiné dans la cuiller, le jus ne montre aucune tendance à donner un précipité, au contraire, il est d'autant plus gélatineux, qu'il est plus riche en sucre. Cette période gélatineuse (sucro-carbonate) fait perdre un temps précieux pour peu que le gaz du four à chaux ne soit pas très riche en acide carbonique. L'émoussage exige que l'ouvrier ne quitte pas sa chaudière et souvent il ne vient à bout de la mousse qu'à grand renfort de graisse et de vapeur ; 2° Le jus perd peu à peu son aspect gélatineux et le gaz le traverse plus aisément, bien qu'en causant toujours une mousse abondante, mais moins compacte qu'au début. Si l'on filtre un échantillon de ce jus (ce qui ne se fait que lentement), on trouve dans le filtrat une teneur en chaux d'environ 350 gr. par hectol. En renouvelant cet essai quelque temps après, on trouve encore le même résultat. Il semble donc que l'opération n'avance pas. C'est qu'une partie de la chaux restée jusque-là en suspension dans le jus, s'y dissout maintenant au fur et à mesure qu'une égale quantité précédemment dissoute est précipitée à l'état de carbonate. *C'est la période de dissolution* ; 3° La mousse, si gênante jusque-là, tombe brusquement ; l'ouvrier peut arrêter l'injection de la vapeur d'émoussage ; mais il faut qu'il consacre toute son attention à l'achèvement de l'opération. La dissolution de la chaux est terminée et l'alcalinité, qui s'est longtemps maintenue à 350 gr. est tombée à 200 gr. environ. Le gaz traverse facilement le jus qu'il soulève avec un bruit clair ; c'est le signe auquel l'ouvrier reconnaît que le terme final approche. Une attention extrême est indispensable pour saisir le moment précis où le précipité se dépose bien en se séparant nettement du jus clair, en même temps que l'alcalinité de ce jus clair arrive approximativement à 100-120 gr. par hectolitre. Ce point critique étant constaté, il faut s'empresse d'interrompre l'arrivée du gaz ; la carbonatation est terminée.

Mais si, pressé par les exigences de son service aux autres chaudières, emplissage, mise en marche, émoussage, le carbonateur distrait n'est pas là pour arrêter le gaz à l'instant voulu, l'opération est manquée. Le jus trop saturé donnera bien, il est vrai, un précipité

se pressant plus ou moins bien dans les filtres-presses ; mais il contiendra une notable proportion d'impuretés redissoutes : la seule épuration dont dispose aujourd'hui la sucrerie sera compromise et tout le reste de l'extraction du sucre en souffrira.

La carbonatation continue évite ces inconvénients. Deux systèmes se sont dès le début trouvés en présence : celui de l'ingénieur bruxellois Reboux, consistait à faire circuler en sens contraire le jus et le gaz dans un appareil quelconque, tuyau ou chaudières, le jus descendant, pendant qu'on injecte le gaz par le bas. L'autre, celui d'Horsin-Déon, consistait à faire circuler le jus et le gaz dans le même sens en les obligeant à suivre le même chemin tout en restant bien mélangés l'un à l'autre (marche parallèle). Le premier système présente l'avantage de la méthodicité. Reboux employait un ensemble de quatre tubes en fonte réunis en forme d'un M couché. Aux extrémités se trouvent des boîtes de regard démontables. Des barboteurs en fer permettent l'injection du gaz. Un grand écueil de cet appareil résidait dans l'énorme quantité de mousses épaisses qui se produisaient au début de la carbonatation. Il y avait à la partie supérieure un liquide frais chaulé à peine attaqué par l'acide carbonique. Pour éviter cet inconvénient, Reboux fut obligé de renoncer à la marche méthodique et d'adopter pour son appareil la marche parallèle. Il fit donc entrer le jus par le bas en même temps que l'acide carbonique, et le jus sortait carbonaté à point par le haut.

Carbonatation continue en tombeau (Sangerhausen ou Gibert). — Dans ce système, le gaz carbonique est introduit par des tuyaux descendant jusqu'au fond de la chaudière d'où il est distribué dans le liquide ; celui-ci entre non pas vers le haut, mais vers le $\frac{1}{3}$ de hauteur. La méthodicité n'est plus complète, mais on obvie par ce tour de main à l'inconvénient de la production des mousses. On donne aux chaudières une forme étroite et allongée (tombeau) qui utilise très bien l'acide carbonique. On commence la carbonatation dans les chaudières I et III et on l'achève dans la chaudière II placée entre les 2 autres. Une éprouvette sert à vérifier la carbonatation du liquide qui s'écoule de la chaudière du milieu. La seconde carbonatation se fait d'une façon discontinue.

Carbonatation continue Naudet. — Dans la carbonatation continue Naudet (fig. 113) on a, pour éviter l'écueil des mousses, *complètement renoncé à la circulation méthodique*. Le jus venant du bac en charge par le tuyau J muni d'une vanne ou soupape d'entrée V et d'un papillon de réglage P entre dans la chaudière CC jusqu'à la partie la plus basse. Le gaz entre par le tuyau CO₂ et arrive le plus près possible de la sortie de jus ; il porte une cloche d'émulsion avec tôle perforée CP. Les deux fluides réagissent l'un sur l'autre sous

la cloche; le jus émulsionné traverse une première fois la tôle perforée de celle-ci et arrive à une seconde tôle perforée horizontale T où toute émulsion cesse. Quand il atteint le niveau donné, il coule par charge dans un bac d'épreuve en passant par le régulateur à flotteur RF. Pour éviter l'encrassement de ce flotteur par les matières grasses du jus, le réservoir porte une toile imperméable I au-dessus de laquelle il y a de l'eau qui se renouvelle par EE et dans laquelle nage le flotteur. Le jus carbonaté s'écoule ensuite dans un bac de réglage d'écoulement M, et il se rend aux pompes à jus troubles. La chaudière porte en outre une tôle d'écoulement de niveau TE et une soupape de purge et de vidange S.

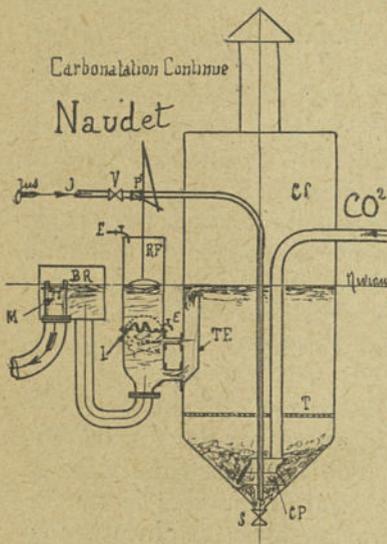


Fig. 113. — Carbonatation continue Naudet.

dans le cas où les variations sont trop brusques : dans ce cas l'ouvrier doit intervenir et fermer ou ouvrir.

Carbonatation continue R. Quarez. — Frappés des inconvénients de l'emploi de l'acide carbonique au moyen du barbotage, quelques inventeurs abandonnant le vieux matériel, se sont efforcés de donner une nouvelle solution du problème, en divisant et agitant le liquide à saturer dans le gaz maintenu sous pression. L'appareil de carbonatation continue de R. Quarez rappelle dans son ensemble le principe de l'appareil à acide sulfureux du même inventeur (voir plus loin). Il y a ici également circulation parallèle entre le jus et le gaz. Le jus additionné de chaux le plus longtemps possible d'avance est maintenu en agitation dans de grands réservoirs ; on peut ainsi contrôler à l'avance la teneur en CaO qui doit être observée aussi, régulière-

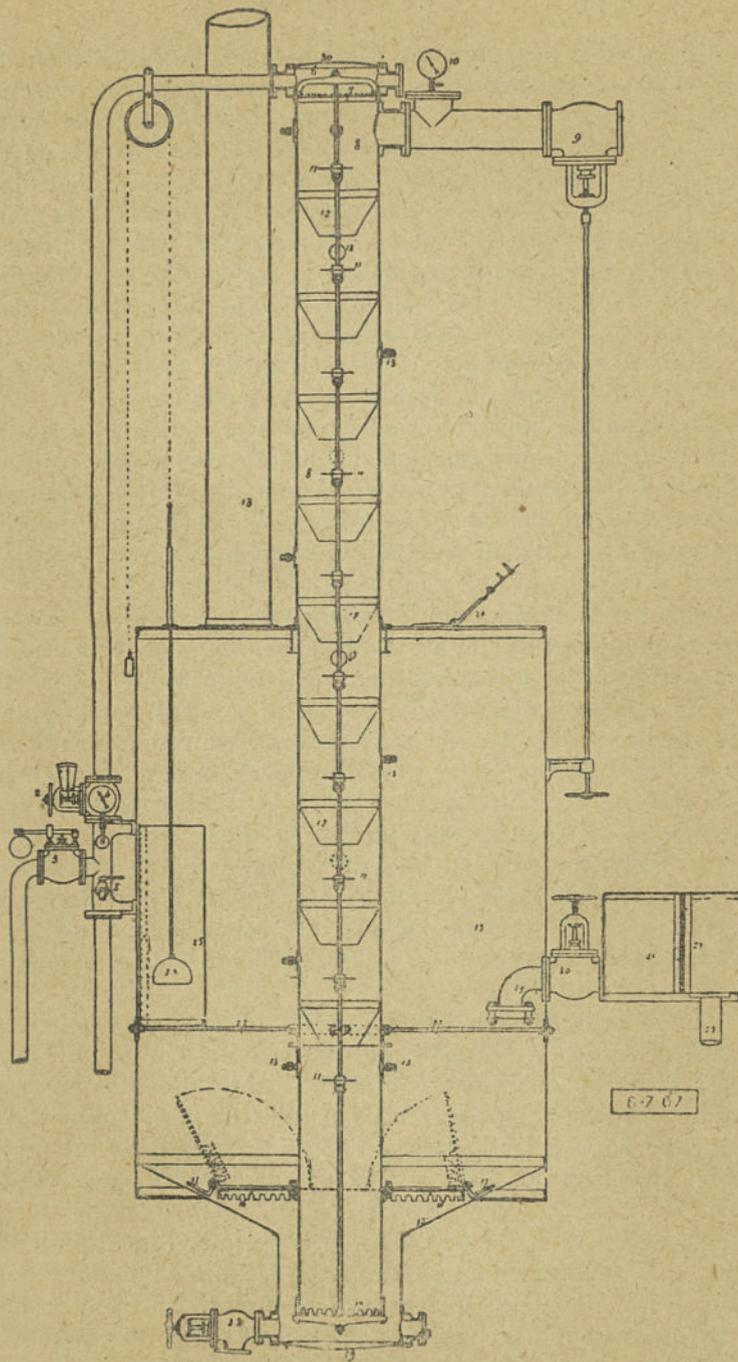


Fig. 114. — Carbonation continue (R. Quarez)

ment que possible. Une pompe centrifuge le refoule à travers un réchauffeur dans le tuyau 1 (fig. 114) sous une pression constante ; il traverse la soupape 2 qui règle l'admission. Une aiguille parcourant une graduation renseigne exactement sur l'ouverture de cette soupape. Une soupape de sûreté 3 laisse retourner l'excédent de jus à l'aspiration de la pompe. Le manomètre 4 renseigne sur la marche de la pompe ; il indique environ 1 k. 2 de pression par cm². Le robinet 5 sert à prélever des échantillons de jus chaulé. Ayant pénétré dans le distributeur 6, le jus traverse la tôle perforée 7 pour tomber en pluie dans la colonne 8 où se fait l'absorption de l'acide carbonique insufflé par la soupape 9. Le manomètre 10 indique la pression du gaz dans la colonne (0 k. 3 à 0 k. 5 par cm²).

Dans l'axe de la colonne se trouve tendue une chaîne ou tige articulée portant des disques ou plateaux 11 qui alternent avec des entonnoirs 12 fixés à l'intérieur de la colonne. Le jus tombe successivement sur chaque plateau qui le fait rejaillir en cascade dans l'entonnoir se trouvant dessous, lequel le ramène au centre du plateau suivant.

Arrivé au bas de la colonne, le mélange de gaz et de jus traverse la denture 14 et se divise tout autour de la colonne pour remonter dans l'espace annulaire et atteindre, dans le fond conique de la chaudière 15, le diviseur circulaire 16. Ce diviseur à bord denté est formé de quatre parties ou secteurs pouvant se lever autour des charnières 17, en vue de dégager le fond pour en faire le nettoyage. Le gaz non absorbé s'échappe par la cheminée 18 et le liquide s'écoule par le tuyau coudé 19 et la soupape 20. Un disque empêche les bulles de gaz de s'engager dans l'orifice du coude. Le jus traverse le bac d'épreuve 21 muni d'une cloison mobile 22 en forme de registre, descendant près du fond de façon à ne laisser passer que du jus exempt de toute mousse ; enfin le tuyau 23 conduit le jus aux becs d'attente des filtres.

Le flotteur 24 indique le niveau et l'état du jus dans la chaudière ; il est protégé contre le déplacement par un écran hémicylindrique 25 perforé à sa partie inférieure ; 26 est une porte donnant accès dans l'appareil ; des tirants 27 assurent la stabilité de la couronne ; 28 est une soupape pour vider l'appareil en fin de travail, 30 est un couvercle en tôle fermant les distributeurs de jus, au sommet de la colonne.

Cet appareil a le grand avantage de supprimer l'inconvénient des mousses que ne supprime pas l'appareil à trois chaudières recommandé par les Allemands Claassen et Rümpler. En effet, le jus ne cesse de mousser que lorsqu'il est déjà près du point d'arrêt de la carbonatation. Dans le « Quarez » le jus qui passe au bas de la colonne n'accuse plus qu'environ 200 gr. de chaux par hectolitre ;

pour l'amener à 100 gr. il reste peu à faire et cela se fait sans à coups, dans la chaudière avec le gaz déjà très appauvri par son passage dans la colonne. La capacité de la chaudière est relativement grande et cela forme volant, régularisant l'alcalinité finale.

Carbonatation lente. — Quelquefois la carbonatation traîne en longueur ; les principales causes de cet accident sont : 1° La pauvreté du gaz du four à chaux ; 2° La pompe à gaz est trop petite ou est défectueuse. Le diamètre de cette pompe doit toujours être assez grand pour qu'elle puisse avec une allure lente suffire à un travail ordinaire de l'usine, en sorte qu'il suffise de la faire tourner un peu plus vite pour compenser certaines déficiences passagères telles qu'un manque d'étanchéité du piston, des soupapes ou des clapets ou la pauvreté du gaz en acide carbonique. La puissance de la pompe est également diminuée quand la perte de charge dans le tuyau d'aspiration est trop forte ; cette perte ne doit pas dépasser 0,75 à 1 m. 00 d'eau. Pour la mesurer et découvrir l'endroit où une trop grande résistance se produit, il est bon de placer un vacuomètre à eau à la sortie de chaque laveur et sur la pompe. On peut ainsi savoir si une résistance inusitée provient de la marche défectueuse d'un laveur ou par suite de l'obstruction de la tuyauterie par des cendres entraînées du four à chaux ; 3° Chaulage exagéré des jus ; 4° Présence de fortes doses de matières pectiques qui forment avec la chaux des combinaisons visqueuses analogues au sucre-carbonate. Dans ce cas, il faut travailler très rapidement à la diffusion et à des températures pas trop élevées.

Pour trouver la cause d'une carbonatation lente, le mieux est de faire fréquemment l'analyse du gaz qui s'échappe de la carbonatation, surtout si celle-ci est continue, on peut ainsi savoir si la mauvaise saturation provient d'une mauvaise absorption du gaz.

Ebullition après 2° carbonatation. — Il est bon de toujours faire bouillir les jus après la 2° carbonatation. Si celle-ci a été poussée jusqu'à la formation de bicarbonates, l'ébullition décompose ces bicarbonates : celui de calcium est précipité à l'état de carbonate de calcium insoluble. C'est une faute de négliger cette ébullition finale à l'air libre, car on salit beaucoup les surfaces des appareils d'évaporation et on a des sirops troubles.

Sulfitation des jus carbonatés. — Dans quelques usines on traite par l'acide sulfureux le jus qui a subi le deux carbonatations ; mais ce procédé ne paraît pas donner de bons résultats d'une façon générale, ces jus étant trop étendus. C'est une opération très délicate qui, si elle n'est pas rigoureusement conduite en laissant une notable alcalinité, fait courir le risque de voir le jus s'altérer, avec inversion du sucre, pendant l'évaporation. Il arrive que les 2/3 de l'acide sulfureux dissous passent dans les eaux de condensation du multiple-effet. De

plus les surfaces de chauffe des appareils d'évaporation se recouvrent souvent de sulfite de calcium qui diminue notablement la transmission de la chaleur. Il est généralement préférable de pratiquer la sulfitation des sirops.

L'alcalinité assure la conservation jusqu'à ce que le liquide soit transformé en sirop ; les dangers d'altération étant alors moins grands, on sature l'alcalinité par l'acide sulfureux. Nous décrirons donc plus tard les appareils employés.

Bouillissage des jus (Saft Kochen). — Anciennement l'ébullition après carbonatation se faisait par le serpentín placé dans la chaudière. Depuis qu'on a supprimé ce serpentín, il n'est plus possible de faire l'ébullition dans la chaudière. Quelques usines ont, dans ce but, remonté ce serpentín, mais il est préférable de faire l'ébullition des jus dans un autre appareil et sur les jus préalablement filtrés. Cette opération a reçu le nom de bouillissage et se fait dans un *bouillisseur*. Le bouillisseur, monté par Breitfeld et Daneck, se compose d'un cylindre vertical en tôle à la partie inférieure duquel se trouve un faisceau tubulaire chauffé par de la vapeur de retour. Ce cylindre communique avec l'air libre au moyen d'une cheminée pour l'évacuation de l'ammoniac et de l'acide carbonique. Les jus sont portés à 97-98° par passage à travers un réchauffeur avant leur arrivée dans le bouillisseur. Un autre genre de bouillisseur se compose d'un bac rectangulaire horizontal chauffé par des radiateurs Witkowitz. Le jus arrive d'une façon continue à une extrémité et sort de même à l'autre extrémité du bac où se trouve une cloison descendant jusqu'à une petite distance du fond.

A la sortie du bouillisseur le jus est filtré de nouveau. Cette filtration enlève le carbonate de calcium et le sulfite neutre de calcium (quand on sulfite les jus). Les tubes du multiple effets ne s'encrassent plus et l'on peut marcher toute une campagne sans nettoyage.

Ebullition calcique. — On appelle ainsi l'ébullition que l'on fait subir aux jus qui contiennent encore de la chaux maintenant à l'état caustique les alcalis potasse et soude qui attaquent le sucre inverti et les matières azotées comme l'asparagine, la glutamine, la bétaine, etc., facilement décomposables par les alcalis à l'ébullition. Cette ébullition est également souvent négligée et à tort. Pour qu'elle soit réellement efficace il faut opérer sur le jus chaulé avant la 2° carbonatation et faire bouillir environ 5 minutes. L'inconvénient est que le jus mousse ensuite, pendant qu'on le sature, et il est nécessaire d'avoir des chaudières hautes.

Dans certaines usines, surtout dans celles qui emploient la caisse Pauly (voir le chapitre *Evaporation*) on ne pousse jamais la 2° carbonatation jusqu'à former des bicarbonates et on laisse généralement

une certaine alcalinité calcique ; le *bouillissage est alors une véritable ébullition calcique* qui se fait très bien dans les 1^{re} et 2^e caisses des quadruple et quintuple effets et encore mieux dans la caisse Pauly.

CHAPITRE X

Préparation de la chaux et de l'acide carbonique *Four à chaux (Kalk Ofen ; Lime Kiln)*

Anciennement on achetait la chaux au chauxournier ; cela n'avait pas d'inconvénient parce que les usines étaient de faible importance et qu'on n'employait que très peu de chaux. Puis, les fabriques devenant plus grandes, quelques fabricants installèrent des fours à chaux. Nous avons vu que pour le procédé Rousseau on produisait l'acide carbonique en faisant brûler du coke dans un four. Théoriquement, on ne pouvait produire un gaz renfermant plus de 1/5^e ou 20 % d'acide carbonique, puisque l'oxygène donne son volume de CO², mais il était impossible d'arriver à ce chiffre, car dans toute combustion, il y a toujours excès d'air. On ne dépassait pas 12 p. 100. Dans le but d'augmenter la richesse en CO², on introduisait de la pierre à chaux dans le four, mais on ne pouvait utiliser la chaux qui était mélangée à la cendre du coke. Comme pour faire de la chaux, on se servait à la fois de coke et de calcaire qui tous deux donnent de l'CO², on eut naturellement l'idée d'aspirer le gaz provenant du four à chaux. Mais l'usage des fours à CaO et des pompes à CO² ne se répandit réellement qu'avec le procédé de la carbonatation trouble de Jelinek en Autriche et de la double carbonatation en France.

Ancien four Cail. — Le four à chaux qui a été employé en France dès l'apparition de la double carbonatation de Possoz et que l'on rencontre encore souvent dans les sucreries qui préparent la chaux avec de la craie, ce qui exige des fours assez volumineux, est construit de la façon suivante :

C'est un tronc de cône en maçonnerie (fig. 115) revêtu intérieurement d'une chemise réfractaire et entouré extérieurement d'une enveloppe en tôle pour empêcher toute rentrée d'air extérieur. Des regards permettent de surveiller la marche du four et de ringarder en cas de collage. A la partie inférieure se trouvent, sur le pourtour, 2 ou 3 foyers à coke dans lesquels on brûle une partie de combustible soit environ le 1/3, les 2 autres tiers étant mélangés au calcaire. Les flammes de chaque foyer pénètrent dans le four par 2 gargouilles

horizontales. Entre les foyers se trouvent les bouches de tirage de la chaux munies de portes en fonte ou en tôle.

Il y avait primitivement au centre du four un cône ou une pyramide faisant descendre la chaux vers les bouches de tirage, mais comme il s'y amassait, malgré la pente, une grande quantité de cendrons, on perfectionna le four en creusant à la place du cône, un puits obturé par une grille formée de quelques barreaux mobiles sur des sommiers. En secouant ces barreaux on fait tomber les cendrons en dessous et on les retire par un tunnel creusé sous le four. Mais on reconnut ensuite que la chaleur fournie par les foyers n'activait guère la cuisson et on en vint à supprimer ces foyers, ce qui donna effectivement une économie de coke.

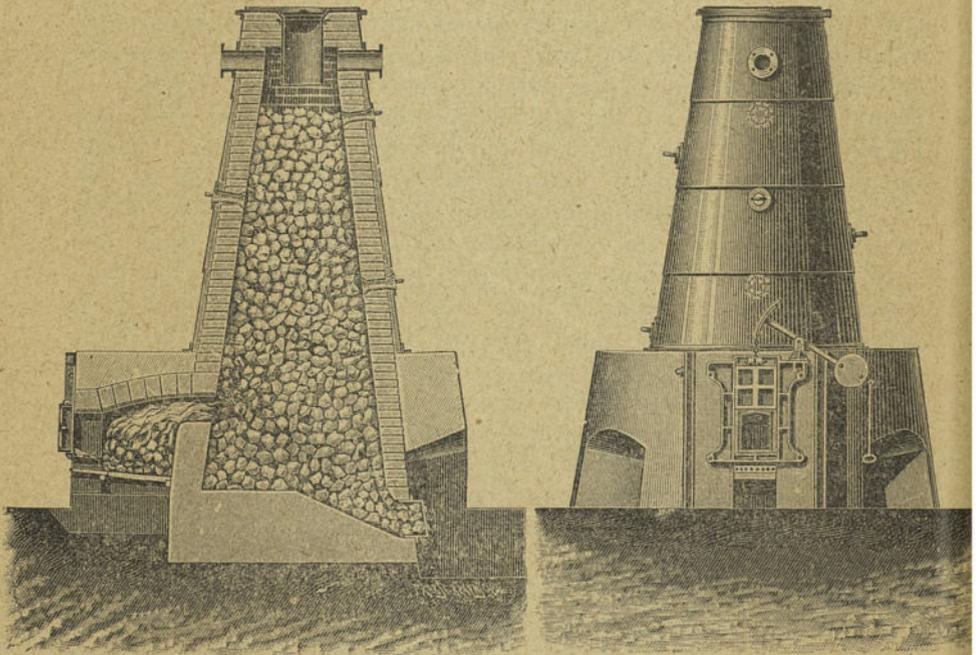


Fig. 115. -- Four à chaux à foyers extérieurs (M. Grevenbroich).

Four à alandiers (K. O. mit Vorfeuerung). — Dans le but d'éviter dans le calcaire la présence des cendres du coke, on a essayé en sucrerie des fours dans lesquels tout le coke est brûlé, dans des fours latéraux ou alandiers ; mais ces fours ne sont guère employés en France, parce que leur conduite exige beaucoup d'attention et d'habileté de la part des ouvriers et donnent souvent beaucoup d'incuits.

La partie supérieure du four est fermée soit par une trappe

commandée par un levier soit par un cône suspendu au fond d'un entonnoir (cup and cone). L'acide carbonique est aspiré par un tuyau se terminant par deux branches qui débouchent au sommet du four.

Mise en marche et fonctionnement du four à chaux. — On met de la paille, du bois et un peu de houille sur les grilles, puis on introduit par le haut un mélange de calcaire et de 15 p. 100 de coke en poids, pour remplir le four à peu près au $\frac{1}{3}$. On allume, puis on fait marcher la pompe à gaz qui aspire par le haut. Le combustible, coke grossièrement concassé ou anthracite, est dès lors introduit régulièrement avec le calcaire et c'est la pompe à gaz qui produit le tirage. L'air nécessaire est amené en partie par les grilles et en partie par les portes.

Quoique le défournement de la chaux soit discontinu, il y a dans le four une marche descendante continue très lente de la chaux et une marche ascendante continue très rapide des gaz : air, acide carbonique, etc... Il y a donc contre-courant.

La combustion détermine dans le four la production de 4 zones. Il y a à la partie inférieure une grande zone de refroidissement dans laquelle le calcaire décomposé cède sa chaleur au courant d'air ascendant et où les fragments de coke en ignition entraînés éventuellement achèvent leur combustion. Pour que cet échange de température (récupération) soit aussi parfait que possible, il faut que le mouvement de l'air soit lent, il faut donc élargir cette partie du four en forme tronconique, pour augmenter la surface de contact de la chaux avec l'air. Au-dessus de cette 1^{re} zone s'en trouve une autre qu'on peut appeler zone de décomposition ou de dissociation. Le coke reçoit une forte proportion d'oxygène, la température s'élève beaucoup et le calcaire se dissocie. Cette zone doit être de faible épaisseur et la température pas trop élevée pour éviter la formation de l'oxyde de carbone. Au dessous de cette 2^e zone se trouve la zone de chauffage. Le calcaire et le coke renfermant tous deux de l'eau rencontrent un courant gazeux à haute température ; il y a réchauffage de toute la masse et évaporation de l'eau. Enfin au-dessus de cette 3^e zone, il y a une partie vide qu'on peut appeler la zone de régulation où il règne une légère dépression (40 mm. de mercure, soit une tension de 720 mm.), produite par la pompe à gaz et produisant à son tour l'appel des gaz des zones inférieures. Cette zone doit avoir un assez grand volume, d'abord parce qu'il doit y avoir échange de température (récupération) entre ces gaz et les matières solides ; et ensuite pour que la dépression y soit régulière ; avec un grand volume on augmente la surface de contact des matières solides froides avec les gaz chauds et on assure la régularité de la dépression, car, sous ce rapport, cet espace remplit les mêmes fonctions que la bouteille d'air dans les pompes. Pour satisfaire aux

conditions ci-dessus, il faudrait donner au four une forme rétrécie à la ligne de feu, où il faut une grande vitesse, c'est-à-dire une forme représentant deux troncs de cônes superposés ayant leur petite base commune, c'est-à-dire tout le contraire de la forme ovoïde que l'on a parfois adoptée et beaucoup plus évasée vers le haut que la forme tronconique de Cail. Cette forme étant peu pratique et donnant des collages, on adopte, comme pour les diffuseurs, une forme se rapprochant du cylindre.

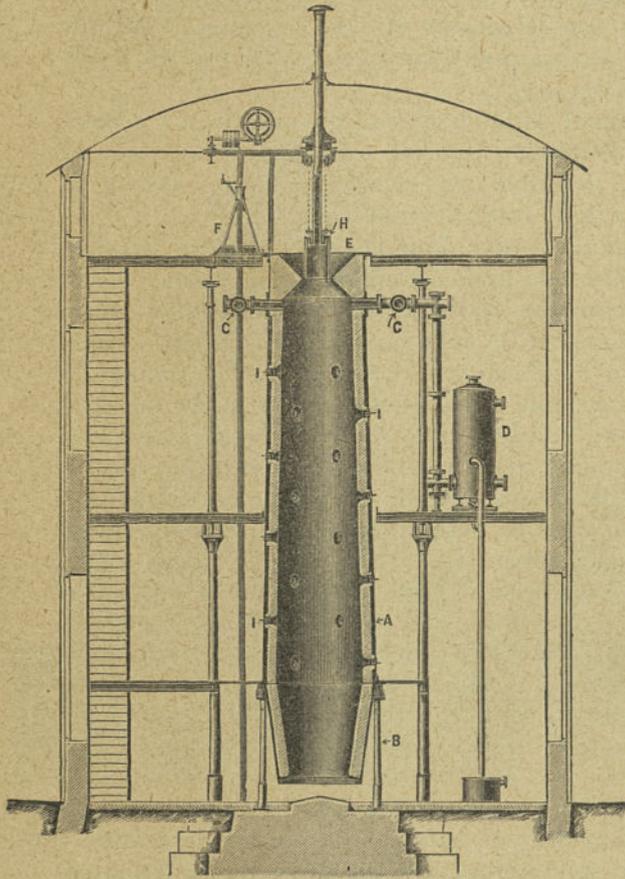


Fig. 116. — Four Khern (M. Grevenbroich).

Four Khern. — Ce four, de forme presque cylindrique, a un diamètre de 2 m. et une hauteur de 12 à 15 m. il se termine en bas par un cône présentant une porte inférieure unique qui suffit pour le passage de l'air et pour la vidange de la chaux. La figure 116 représente un four Khern en briques réfractaires entouré de sa chemise en tôle A ; il repose sur 6 ou 8 colonnes B. La chaux est défournée par le bas, tandis que l'acide carbonique est aspiré par deux tuyaux C placés en dessous de l'entonnoir de chargement E. Le calcaire est élevé par le monte-charge F. La partie inférieure de la cheminée H est relevée pendant le chargement. Le four porte des regards I

pour surveiller et régler la combustion. Ce four est actuellement le plus estimé. Il donne le gaz le plus riche en acide carbonique (30 à 34 p. 100) avec le minimum de combustible : 8 à 12 p. 100 de coke du poids du calcaire.

Capacité productive des fours à chaux. — Pour le calcul de la

capacité des fours à chaux, on peut admettre les chiffres suivants d'après A. Grøeger (1). Pour un travail de 500 tonnes de betteraves et une consommation de 3 p. 100 du poids des betteraves, un four à foyers extérieurs doit avoir une capacité de 36 m³. Si le calcaire a 5 p. 100 d'impuretés, il faut porter cette capacité à 38 m³. Si le combustible est introduit en mélange avec le calcaire comme cela se fait dans les fours français, il faut augmenter ce volume de 7,5 m³, soit 43,8 à 45,5. La capacité du four devrait donc varier de 0 hl. 7 à 0 hl. 9 par tonne de betteraves, tandis qu'autrefois on comptait 4 hectol. par tonne. Mais le calcul ci-dessus ne s'applique qu'à la calcination du calcaire dur et dense, tel que le marbre du Boulonnais ou la pierre de Belgique. Quand on calcine de la craie, il faut au moins 1 h. 30 par tonne de betteraves et comme ce calcaire est souvent très humide, il vaut mieux compter 2 hl. par tonne. Avec le four Khern, on est descendu jusqu'à 0 h. 65 par tonne, mais c'est une limite qui n'est possible qu'en employant un calcaire très dense ou le marbre et menant la cuisson à allure très chaude, au grand dommage de la chemise réfractaire du four qui fait difficilement deux campagnes.

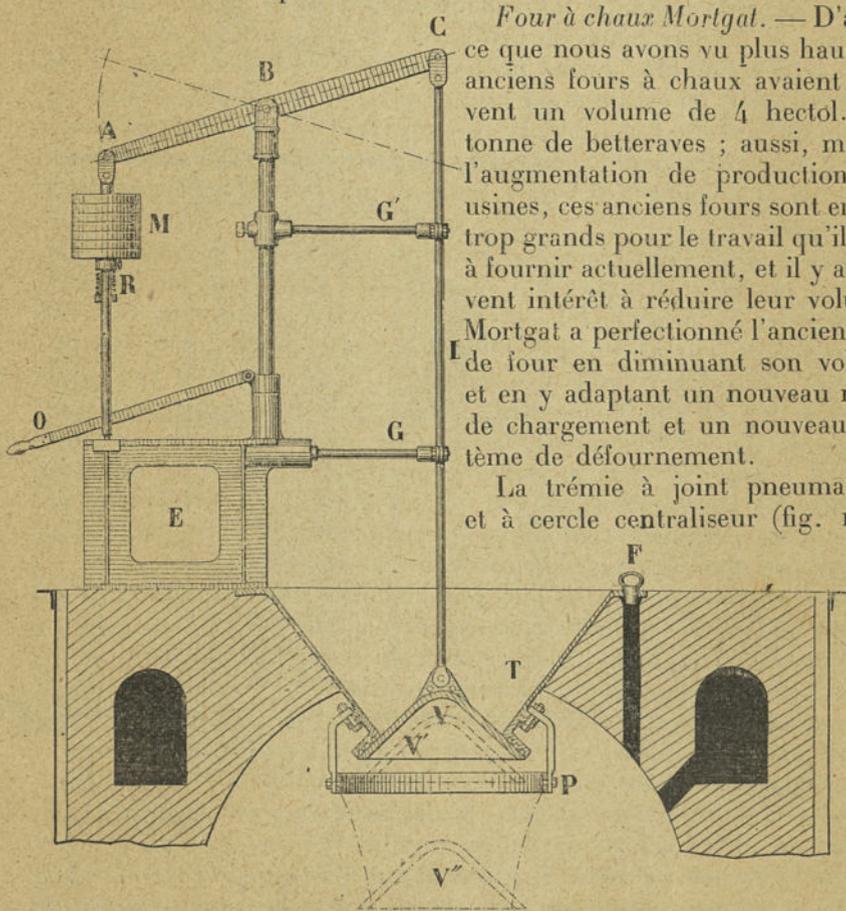
Four à chaux pour craie. — Quand on emploie de la craie, il faut revenir aux grands fours (sans exagération) tels qu'on les faisait à l'apparition du procédé Possoz. Dans ce cas, le vieux four Cail est préférable au four Khern, par suite de son plus grand cube ; la température du calcaire croît plus lentement dans le four et la vapeur d'eau se dégage plus doucement. Dans le four Khern, au contraire, la vaporisation est très rapide, la vapeur acquiert même une certaine tension avant son dégagement, ce qui fait pulvériser le calcaire, produit des obstructions dans le four et une marche irrégulière de celui-ci. Le vieux four Cail convient également très bien à la cuisson du calcaire dur ; il exige seulement un peu plus de coke.

Pour produire une chaux bien régulièrement cuite, un gaz riche en acide carbonique, en dépensant peu de combustible, il faut soigner le mode de chargement du calcaire et du coke. Les gaz de la combustion ont une tendance à suivre les parois du four où le frottement est moindre, et cette tendance est d'autant plus marquée que les parois sont plus inclinées, c'est-à-dire que le four est plus conique. Il se forme au centre du four un cylindre ou noyau calcaire dans lequel la dissociation se fait mal, où la calcination est incomplète, la chaux incuite. Lorsque ce fait se produit, le praticien en conclut que le four n'est pas assez chaud et il fait forcer la dose de coke ; il arrive bien ainsi à pénétrer quelque peu le noyau central, mais on porte les parties avoisinant les parois à une température beaucoup trop élevée, on surcuit la chaux, on la porcelanise, on la fritte ; on

(1) A Rümpler. Handbuch der Zucker fabrika tion.

va même jusqu'à provoquer la combinaison de la silice et de l'alumine des briques du four avec la chaux formée, car on a atteint la température de fusion des verres alumino-calcaires : on colle le four, et ces collages peuvent démolir en une seule campagne un four complètement neuf. Pour avoir une marche rationnelle et économique, il faut rendre la partie centrale du four poreuse et la partie périphérique compacte, c'est-à-dire disposer les gros morceaux au centre, les petits, le menu vers la périphérie.

D'autre part, le coke est constamment rejeté vers la paroi ; il faut donc pour pallier cet inconvénient forcer la dose de coke au centre, la raréfier vers la paroi.



Four à chaux Mortgat. — D'après ce que nous avons vu plus haut, les anciens fours à chaux avaient souvent un volume de 4 hectol. par tonne de betteraves ; aussi, malgré l'augmentation de production des usines, ces anciens fours sont encore trop grands pour le travail qu'ils ont à fournir actuellement, et il y a souvent intérêt à réduire leur volume. Mortgat a perfectionné l'ancien type de four en diminuant son volume et en y adaptant un nouveau mode de chargement et un nouveau système de défournement. La trémie à joint pneumatique et à cercle centraliseur (fig. 117),

Fig. 117. — Trémie à joint pneu et à cercle centraliseur.

se compose d'une trémie T en 2 pièces dont la partie inférieure est munie d'une couronne à cannelures circulaires profondes. La cloche

mobile V en s'appliquant contre ces cannelures établit un joint pneumatique ; en effet, la dépression constamment variable entretenue dans le four sous l'action des coups de piston de la pompe à gaz, force l'air dans ces cannelures et y produit un remous, un bourrelet gazeux, qui donne un joint bien étanché (principe du piston Giffard).

A l'intérieur du four et sur la trémie, est fixé un anneau épais en fer forgé P.

La cloche V est reliée à l'extrémité C du balancier B par une tige D guidée par deux colliers GG' qui assurent le centrage parfait de la cloche dans toutes ses positions. L'autre extrémité du balancier est articulée avec une tige à contre-poids M et ressort R équilibrant le système à vide. Cette tige est commandée par un levier O.

On déverse le coke cassé menu dans le fond de la trémie et par-dessus la craie en morceau. Le poids de la craie tend le ressort R, la cloche mobile passe de V en V' et découvre un orifice suffisant pour laisser passer le coke seulement ; celui-ci rencontre sur sa trajectoire de chute l'anneau P qui le renvoie au centre du four. Immédiatement on relève le levier O et on laisse brusquement descendre le cône à fond de course dans sa position V'' ; le calcaire tombe et rencontre le cône qui le refoule vers la paroi. On peut ainsi distribuer le coke au centre, ce qui permet une conduite plus facile du feu.

La trémie est munie sur son rebord de trois orifices avec tampons ajustés en fonte F ; ces orifices permettent d'introduire une sonde dans le four et de vérifier à chaque changement d'équipe, la hauteur de la zone de chargement, constatation trop souvent négligée.

La partie cylindrique ou tronconique du profil inférieur est raccordée à une grille rectangulaire centrale, grille composée de barreaux reposant sur des paliers mobiles dont l'écartement est réglable, même en marche. On imprime à ces barreaux soit isolément, soit simultanément, un mouvement alternatif de demi-rotation. La commande peut être faite à la manivelle ou mécaniquement ; le défournement peut être continu ou discontinu. Ce système de défournement assure une descente régulière de la chaux et maintient la porosité constante et par suite l'aération est toujours la même.

La chaux est défournée directement dans les wagonnets, ce qui assure une réduction de main-d'œuvre assez sensible. La consommation de ce four varie de 7,5 à 9,5 k de coke ou d'anthracite par 100 k. de calcaire, suivant la nature du calcaire et du combustible.

Four à gazogènes (K. O. mit Generatorfeuerung). — Ces fours sont connus depuis très longtemps en Allemagne. Les alandiers de la fig. 115 sont remplacés par des gazogènes. Ces fours ont l'avantage de permettre l'emploi d'un autre combustible que le coke dans les pays où celui-ci ne se trouve pas. On peut employer du lignite, de

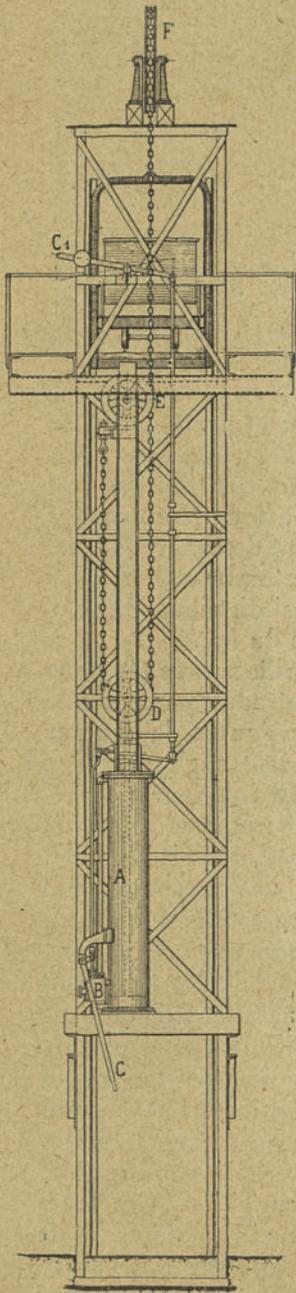


Fig. 118. — Monte-charge (F. Moret)

l'anthracite, du charbon flambant et même du bois (en Russie). La chaux n'est pas souillée par les impuretés données par la cendre du combustible. Par contre, la conduite des foyers à gazogènes est assez difficile et exige un personnel très expérimenté. Tant que la question de l'alimentation et du défournement continus et mécaniques ne sera pas pratiquement résolue, il présentera le défaut capital d'exiger un long, pénible et coûteux apprentissage, durant parfois aussi longtemps que le tour lui-même. Ces fours, pour obtenir une bonne répartition du gaz combustible, ne peuvent être faits qu'avec un faible diamètre (1 m. 60 environ) ; aussi leur donne-t-on une grande hauteur.

*Monte-charge à vapeur pour fours à chaux.
(Dampfauzug ; Steam lift)*

C'est le type de monte-charge très employé pour le déchargement des bateaux dans les ports de mer. Il se compose d'un cylindre à vapeur A dont le piston a une course égale au quart de la hauteur d'élévation de la charge et qui porte une boîte à vapeur B. Le piston agit sur un palan renversé DE qui quadruple la course du piston. La chaîne de ce palan passe sur une poulie de renvoi F et suspend la cage avec wagonnet. Le wagonnet ayant été rempli et amené dans la cage du monte-charge par le levier c on introduit la vapeur sur la face supérieure du piston. Le piston descend, la cage monte et s'arrête automatiquement lorsqu'elle arrive au niveau du haut du four. L'ouvrier du haut déverse le wagonnet, le ramène dans la cage puis en manœuvrant le levier C, il évacue la vapeur introduite dans le cylindre pour la montée. La cage descend et s'arrête automatiquement lorsqu'elle arrive au niveau du sol. (Fig. 118.)

Pierre à chaux (Kalkstein, Lime Stone)

Le calcaire employé doit naturellement être aussi pur que possible ; il contient généralement de 96 à 99 p. 100 de carbonate de calcium.

Il ne doit pas renfermer de silice, d'alumine, de magnésie, etc... La silice et l'alumine en contact avec la magnésie et la chaux forment à haute température des silicates et des aluminates fusibles qui peuvent occasionner des collages et qui, en tout cas, donnent une chaux d'une extinction lente et difficile. Les silicates solubles sont introduits dans le jus par le lait de chaux ; lors de la carbonatation ils sont décomposés en grande partie, mais la silice reste en dissolution et se dépose ensuite par endroits dans les filtres-presses où elle rend la filtration difficile et sur la surface de chauffe des appareils à évaporer et à cuire. La magnésie et le sulfate de calcium produisent également des incrustations à l'évaporation et à la cuite. Le calcaire peut renfermer un peu d'humidité qui favorise la dessiccation du carbonate de calcium, mais quand le calcaire est trop humide, il exige pour sa décomposition une trop forte proportion de combustible. La proportion de

La ^{portion} de coke employée autrefois de 20 à 25 % a été réduite à 10 p. 100 et même à 6,5-7 % dans ces dernières années. Il ne doit pas renfermer plus de 5 à 10 p. 100 de cendres.

Collage. — Un accident qui survient parfois au four à chaux est le collage ; il provient le plus souvent de la mauvaise qualité du calcaire employé ; mais il peut tenir aussi à ce qu'on a chargé le calcaire trop en poussière ou à ce qu'on a mis trop de coke. Le collage se produit encore souvent lorsque après avoir forcé la proportion de coke dans le but d'améliorer la cuisson l'on augmente trop brusquement l'allure de la pompe à gaz ; il en résulte une surélévation de tempé-

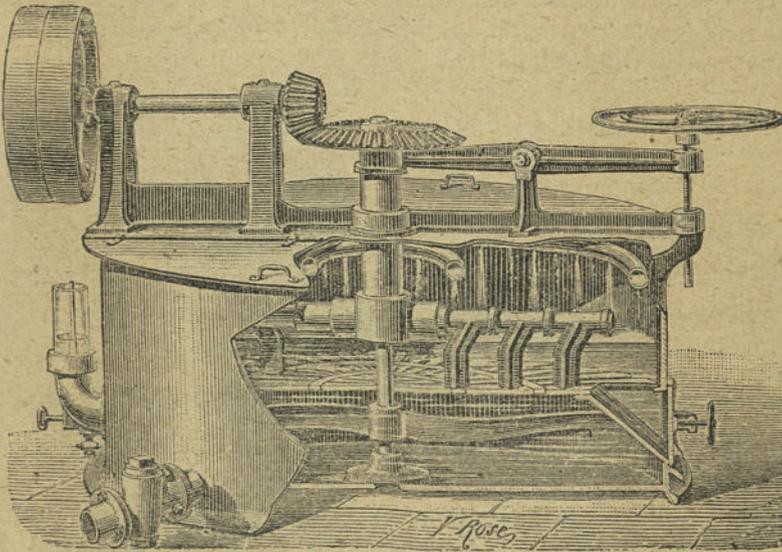


Fig. 118. — Préparateur de lait de chaux (discontinué).

rature et une fusion partielle de la charge. Quand cet accident arrive, il faut défourner beaucoup de calcaire pour faire descendre la masse fondue, puis briser la voûte formée en agissant, au moyen de ringards, par le haut du four et par les regards latéraux.

Nous avons vu que l'on aspire le gaz carbonique au haut du four, donc, quand le four est en marche, c'est la pompe à gaz qui produit la circulation des gaz dans le four, c'est-à-dire le tirage.

L'allure de la pompe à gaz doit être réglée pour maintenir les 4 zones R, C, D, R, dans leurs positions respectives. Si la pompe va trop vite, le feu monte aux charges et le gaz sort très chaud ; si elle va trop lentement, le feu baisse trop, le four languit et la chaux cuite sort trop chaude (Voir Pompe à gaz).

Les défournements doivent être assez fréquents, de préférence toutes les 4 heures ; de cette façon le contenu du four est mis en

mouvement plus fréquemment, la chaux ne reste pas trop longtemps dans la zone de combustion et on n'a pas de chaux morte. Aussitôt après le défournement, on fait une charge de calcaire et de coke. Les charges doivent être faites aussi rapidement que possible pour éviter les rentrées d'air.

Préparateur de lait de chaux (Kalkmilch Apparat ; Milk-of-lime preparer). — Dans quelques usines on rencontre encore des appareils discontinus. L'appareil déjà ancien de la fig. 118 est un cylindre vertical en fonte muni d'un faux-fond perforé en fonte et d'un arbre vertical mis en mouvement par un train d'engrenages coniques. Cet arbre porte au-dessus du faux-fond une traverse horizontale portant de petites palettes mobiles autour de la traverse et en-dessous du faux-fond une grande palette. On y jette la chaux, on ajoute de l'eau, puis

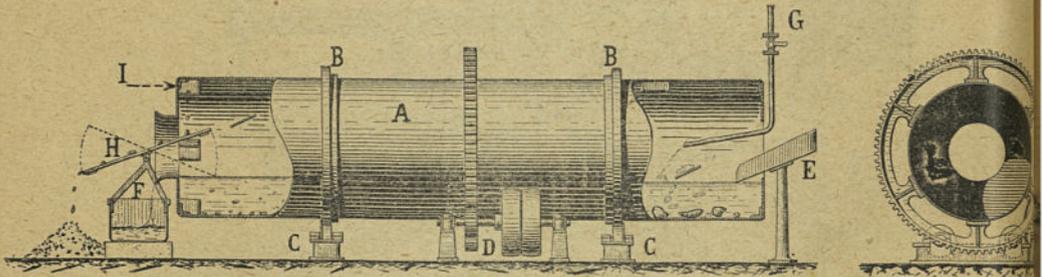


Fig. 119. — Préparateur continu de lait de chaux (F. Moret).

on fait fonctionner l'agitateur qu'un système très simple permet de descendre à mesure que fond la chaux. Le lait de chaux est évacué par une tubulure figurée à gauche tandis que les pierres et les incuits sont retirés par une porte figurée à droite. L'eau et les petits jus sont amenés par les tuyaux recourbés que l'on voit sur la figure. Le faux-fond s'use rapidement ; on l'a supprimé ainsi que la palette et on l'a remplacé par une grille à barreaux placée verticalement ; mais ces appareils n'ont plus qu'un intérêt historique, la préparation du lait se faisant aujourd'hui par des appareils continus.

Préparateur de lait de chaux à tambour rotatif (Kalklœschtrommel ; Lime Slacking Drum). — Récemment on a adopté l'appareil rotatif de Mick qui donne un travail continu et est plus simple. Il se compose d'un cylindre creux ou tambour A tournant à raison de 2 tours par minute autour de son axe, supporté par des galets CC et portant une roue dentée actionnée par le pignon D. La chaux est jetée à la pelle dans la trémie E. L'eau est introduite par le robinet G et tombe sur la chaux vive. Grâce à la rotation du tambour et aux palettes inclinées et disposées en hélice qu'il porte à l'intérieur, la chaux est

malaxée avec l'eau et délayée. Le lait de chaux formé est déversé dans la nochière F et envoyé au tamiseur. Les incuits soulevés par les godets I sont déversés sur la grille H et évacués. Lorsqu'on veut faire rentrer ces incuits dans le tambour, il suffit de faire basculer la grille H, qui occupe alors la position indiquée en pontillé.

Epurateur de lait de chaux F. Moret. — Il se compose d'un réservoir cylindro-conique portant dans son intérieur un tamis filtrant D en tôle à fine perforation, d'une brosse tournante E qui balaie le tamis D et d'un agitateur à bras F commandé par l'arbre G qui fait tourner le liquide et par suite nettoie la face inférieure de D. Le lait de chaux arrive en A et chemine d'abord de haut en bas ce qui précipite les matières étrangères au fond de l'appareil. Il remonte ensuite très lentement dans la partie conique intérieure, filtre à travers D et sort par la tubulure B. Les dépôts sont évacués par le tampon C.

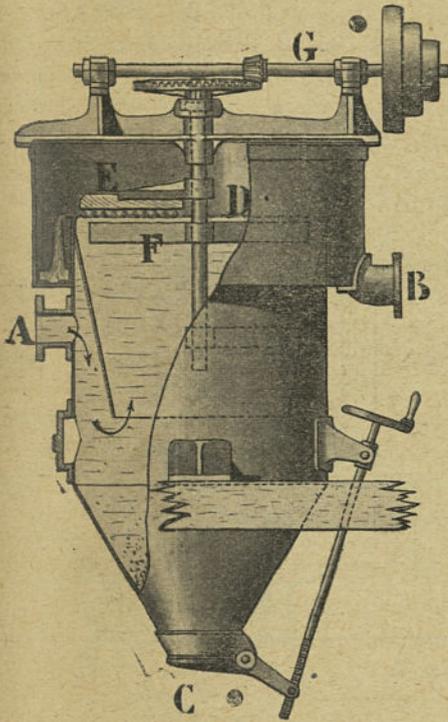


Fig. 126. — Epurateur de lait de chaux F. Moret.

Tamiseur de lait de chaux Koran. — Ce tamiseur est presque identique à l'épuleur du même inventeur. Le tamis en forme de toit D, au lieu d'être couvert par une calotte supérieure est ici nu, ce qui ne présente aucun inconvénient ; il n'existe qu'une gouttière circulaire pour récolter le lait de chacun ; en outre, l'agitateur est mû par un train

d'engrenages placé à la partie supérieure (voir fig. 119).

Le lait de chaux doit être employé immédiatement après sa préparation, sinon il agit moins énergiquement sur le jus, ce que l'on peut attribuer à ce que la chaux s'est combinée à de grandes quantités d'eau (H. Claassen).

Balance à lait de chaux (Kalkmilch-wage ; Milk-of-lime scale). — Cerny et Stole ont imaginé des appareils qui corrigent automatiquement les variations de densité du lait de chaux par une augmentation ou une diminution du volume employé. Ils employèrent d'abord un réservoir muni d'un flotteur conique en forme de densimètre occu-

pant toute la hauteur du réservoir et suspendu au fléau de balance, portant de l'autre côté un poids glissant sur une partie graduée et équilibrant le flotteur. La balance étant réglée on amène dans le bac du lait de chaux jusqu'à ce que la balance soit en équilibre. Si la densité du lait est trop faible, il faudra en mettre un volume plus

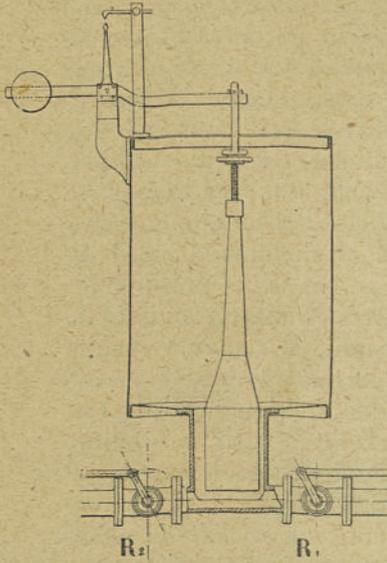


Fig. 127. — Balance à lait de chaux (Mortgat).

grand, en sorte que le produit du volume par la densité sera un chiffre constant, qui ne variera pas tant qu'on ne déplacera pas le contre-poids réglant la balance (Fig. 127).

Bac jaugeur de lait de chaux Cerny et Stolc. Actuellement Cerny et Stolc emploient dans le même but un appareil permettant de suivre le travail de loin. Il se compose d'un bac D (fig. 128) dans lequel se trouvent 2 flotteurs : 1° celui du bas, 5, agit par une suspension à couteau, 6, sur un levier basculant 2, portant un contre-poids, 3, à position variable, un contre-poids 9, et une aiguille r, qui est en *a* quand l'appareil est vide ; 2° celui du haut, 13, agit par la tige graduée 12 et la pièce articulée, 14, 15 sur un autre fléau 10 gradué portant un contre-poids 16 et une aiguille s qui, dans la position de repos, est en *b*.

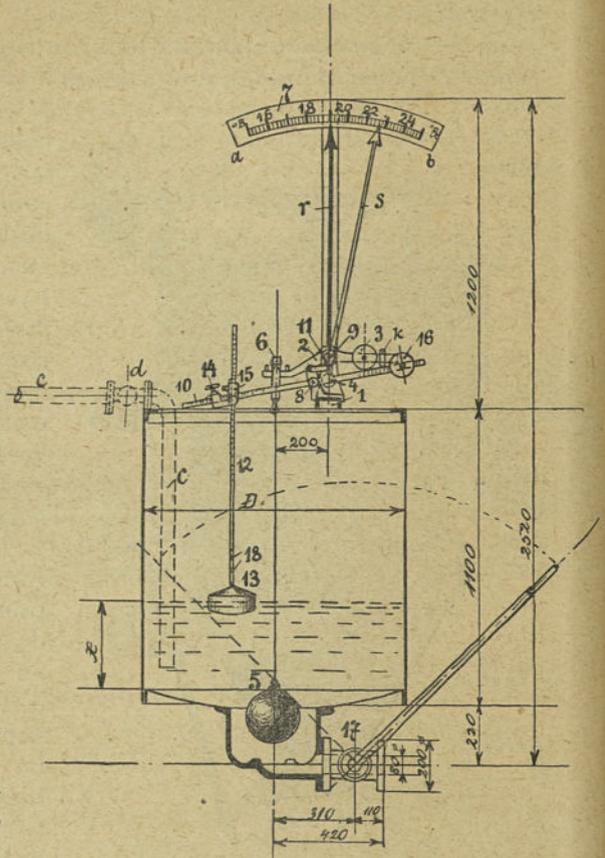


Fig. 128. — Balance Cerny et Stolc (Breitfeld-Danek).

Le lait de chaux arrivant par le tuyau *c* et le robinet *d*, le flotteur 5 est d'abord submergé ; soulagé par le poids du liquide affluant, il monte jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse par les contre-poids 3 et 4 ; au moment où l'équilibre se fait, l'aiguille fixée au pivot 9 indique sur l'échelle graduée du segment 7, la densité du lait de chaux en degrés Baumé.

Tout en montant, le liquide atteint le flotteur indicateur de niveau 13 qui lève avec lui le levier 10 fixé au pivot 8 et agissant sur un prolongement de l'aiguille blanche *s* fixée au pivot 11, laquelle se meut en se rapprochant de l'aiguille rouge *r*. Quand les 2 aiguilles se recouvrent, on arrête l'afflux de lait de chaux, on lâche le contenu par le robinet de vidange 17 et on recommence une nouvelle opération.

Emploi de la chaux en morceaux ou anhydre. — L'emploi du lait de chaux présente l'inconvénient d'introduire inutilement dans les jus une forte proportion d'eau qu'il faut ensuite évaporer, ce qui présente une certaine dépense de combustible et une diminution dans la capacité productive du matériel. Pour éviter cela, on chauffe souvent à la chaux anhydre en morceaux.

Chaaleur Kœnig (Kalklœscher, Lime slaker). — On peut employer dans ce but le chaaleur Kœnig. Il se compose d'un réservoir cylindrique ou cylindro-conique, à l'intérieur duquel tourne un panier cylindrique en tôle perforée dans lequel on place les morceaux de chaux. Ce panier est monté sur un arbre vertical placé dans l'axe de la cuve et commandé par un engrenage conique et des poulies. Le même arbre porte des palettes horizontales qui tournent dans l'espace libre en-dessous du panier et font l'office d'agitateur. On met dans le panier le poids de chaux nécessaire au chaulage du volume de jus que peut contenir la cuve puis on y fait arriver le jus. La chaux s'éteint rapidement et les impuretés, pierres, incuits, etc., restent sur le tamis et n'entrent pas dans la carbonatation.

Dans ce procédé la chaux agit plus rapidement et plus énergiquement, on peut par suite réduire un peu la dose de chaux. En outre, il se dissout une plus forte proportion de chaux dans le jus, d'où saturation plus rapide par l'acide carbonique et meilleure utilisation de ce gaz (Claassen). Mais il présente aussi des inconvénients : 1° Le mélange est moins bon ; 2° il faut que le jus soit très chaud, sinon la réaction ne s'amorce pas ; 3° une fois commencée, la réaction est très vive et la température monte fortement ; 4° la chaux anhydre pesée ne se délaie pas régulièrement dans le jus. Pour toutes ces raisons, beaucoup de fabricants sont revenus à la pâte de chaux, au lait de chaux ordinaire ou au lait de chaux à base de jus. Avec ce dernier, le contrôle de la densité se fait mieux, le sucre facilite la prise du degré Baumé (Pellet). Quand on utilise convenablement les petits jus pour faire le lait de chaux, on arrive au même résultat qu'avec la chaux sèche.

Pompe à lait de chaux (Kalk milch pumpe, Milk of lime pump). — On peut employer une pompe verticale à piston plongeur (fig. 129). Sur la conduite de refoulement de la pompe à lait de chaux se trouve une soupape de sûreté par laquelle le lait de chaux retourne au malaxeur dans le cas où l'on ferme le tuyau de refoulement. La pompe peut donc marcher constamment pour éviter l'obstruction par des dépôts de chaux.

Dans la pompe à lait de chaux de la Compagnie de Fives-Lille, analogue à celle employée autrefois par Champonnois pour la pulpe,

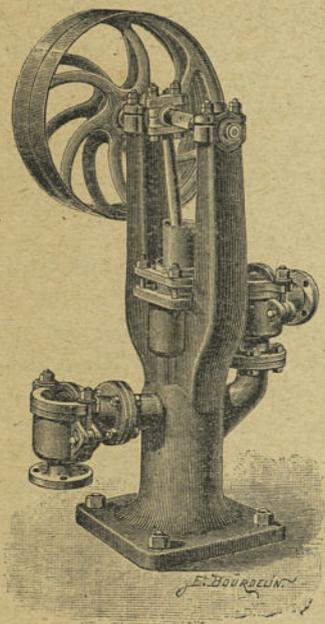


Fig. 129. — Pompe à piston plongeur.

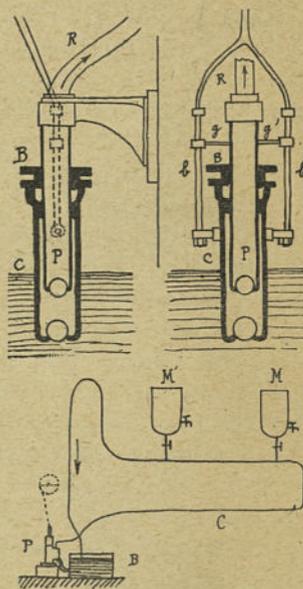


Fig. 130 et 131. — Pompe à lait de chaux Hering à corps mobile, et pompe ordinaire avec cycle à lait de chaux.

c'est le corps de pompe qui se meut tandis que le piston et sa tige sont fixes et portent le tuyau de refoulement. Le piston vertical P creux et fixe (fig. 130) communique avec le tuyau de refoulement R et le cylindre mobile C. reçoit un mouvement vertical alternatif au moyen de 2 tourillons et de 2 bielles b b. Le cylindre et le piston portent chacun à leur partie inférieure un clapet s'ouvrant de bas en haut. Les bielles sont guidées par des guides g g' posés sur le piston fixe.

Une boîte à bourrage B forme le joint entre le piston et le cylindre. La pompe plonge dans le lait de chaux ; on évite ainsi les retards qui se produiraient dans les levées des clapets. Pour maintenir le liquide en mouvement et éviter les dépôts, on peut adopter la disposition ci-dessus. La pompe P aspire dans le bac B (fig. 131)

et refoule dans la conduite C qui retourne en B et alimente les mesureurs MM. Il est bon de placer également un malaxeur dans le bac B des pompes à lait de chaux. On peut compter sur un rendement volumétrique de 60 p. 100. — On emploie aussi des pompes centrifuges à grande turbine et à vitesse angulaire réduite.

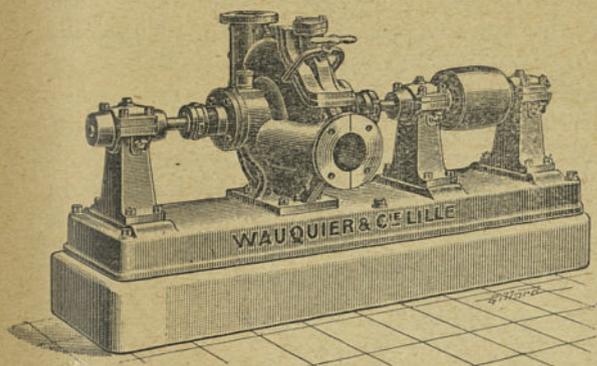


Fig. 132. — Pompe centrifuge à vitesse angulaire réduite, à triple palier et regard pour lait de chaux, jus chaulé et jus carbonaté.

L'usure est assez grande, au point qu'il faut des réparations après chaque campagne, mais c'est un appareil simple et peu coûteux. On refoulera dans un tuyau-tage disposé comme ci-dessus, mais sans pente.

Pompe à jus chaulé (Gekalkter Saft Pumpe ; Limed juice pump).

On se sert de pompes à piston à double effet ayant un piston avec segments en caoutchouc pour éviter les coinçages qui se produisent avec les segments en fer à cause des grains de chaux non cuite qui peuvent être entraînés par le liquide.

On emploie également pour le jus chaulé des pompes centrifuges à grande turbine et à vitesse angulaire réduite. La fig. 132 représente la pompe centrifuge employée par la maison Wauquier. Elle est à triple palier.

Pompe à gaz (Kohlensäure Pumpe ; Carbonic acid pump). — La pompe à gaz généralement employée est une pompe aspirante et foulante ; les éjecteurs, genre Koerting, ne sont recommandables que comme appareils de secours.

Cette pompe peut être construite avec clapets battants, comme les pompes à air humides des machines à vapeur (voir plus loin), ou être munie d'une distribution par tiroir. La pompe à clapets est la plus ancienne et la plus répandue en Allemagne ; elle a l'inconvénient de se prêter mal aux grandes vitesses et de présenter de grands espaces nuisibles qui diminuent le rendement volumétrique ; en outre, les clapets se cassent assez souvent. La pompe à tiroir plan est la plus employée en France ; elle a de moindres espaces nuisibles que la précédente et se prête mieux aux grandes vitesses ; mais elle nécessite l'emploi d'un tiroir très large et par suite très lourd, en raison de la grande section qui doit être donnée aux lumières pour le passage du

gaz. Aussi est-il avantageux, dans les grosses pompes, de remplacer le tiroir plan par un tiroir cylindrique équilibré.

Le tiroir C est actionné par un excentrique. Quand le tiroir est plan, sa table est légèrement inclinée sur la verticale et présente une rampe R qui soutient le tiroir ; le poids de celui-ci tend donc à l'appliquer sur la glace, et la tige est soulagée d'autant. Les Allemands placent souvent le tiroir horizontalement au-dessus du cylindre. Le piston est garni de segments métalliques (fig. 133).

Le gaz arrive par l'intérieur C du tiroir et est refoulé dans la boîte à tiroir G ; la plus grande pression — celle du refoulement — agit donc pour appliquer le tiroir sur sa glace. Si on faisait l'admission par la boîte à tiroir, comme dans une machine à vapeur, le tiroir tendrait, au contraire, à être décollé de la glace, ce qui, naturellement, troublerait la distribution. Il résulte de là : 1° que ce sont les arêtes

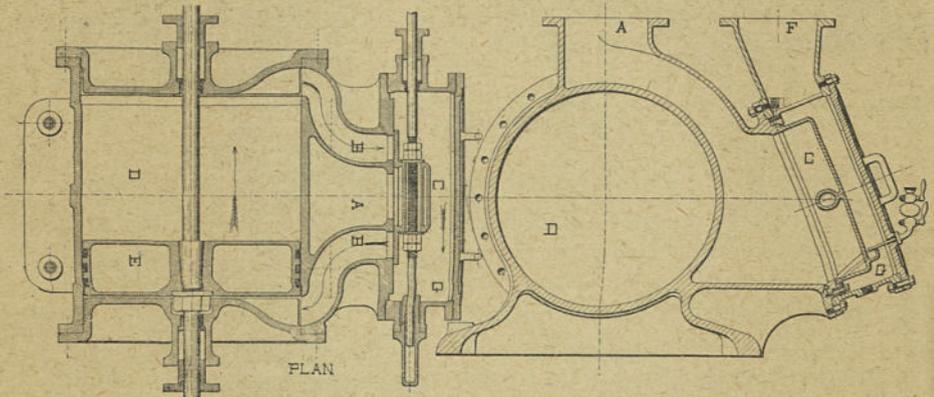


Fig. 133. — Pompe à gaz à tiroir plan (Mollet-Fontaine et Cie, Lille).

intérieures qui règlent l'admission et les arêtes extérieures qui règlent l'échappement ; 2° que le calage de l'excentrique du tiroir, au lieu d'être en avance sur la manivelle d'un angle $90^\circ + \delta$, comme dans une machine à vapeur, est en retard de $90^\circ + \delta$.

Pour qu'une pompe à gaz soit établie dans de bonnes conditions, il faut qu'elle ait la plus grande section de lumière possible, que ses espaces nuisibles soient très réduits, que l'aspiration et le refoulement soient prolongés jusqu'à la fin de la course du piston ; enfin qu'il n'y ait aucune communication entre l'aspiration et le refoulement par l'organe de distribution.

Etude de la distribution. — Elle pourrait être obtenue simplement par l'emploi d'un tiroir T (fig. 134) dont les patins ou baretts arrivent barbe à barbe avec les orifices O et dont l'excentrique de commande soit exactement calé à 90° en retard sur la manivelle. Mais en outre qu'il serait impossible de réaliser l'étanchéité parfaite du tiroir ainsi

construit, il présente un autre inconvénient : à la moindre variation de longueur de la tige du tiroir (dilatation, usure), la distribution serait dérégulée. Par exemple, si la tige s'est allongée, il y aura retard à la fermeture de l'orifice d'aspiration o quand le piston arrivera à fin de course AV ; par suite, en continuant son mouvement, le piston refoulera pendant une certaine partie de sa course dans la conduite d'aspiration. Le phénomène inverse se produira sur l'autre face du piston : il y aura retard à l'ouverture d'aspiration et un vide relatif pendant une fraction de la cylindrée.

Il serait donc impossible de régler un pareil tiroir. Pour éviter cela, on donne des recouvrements intérieurs et extérieurs au tiroir.

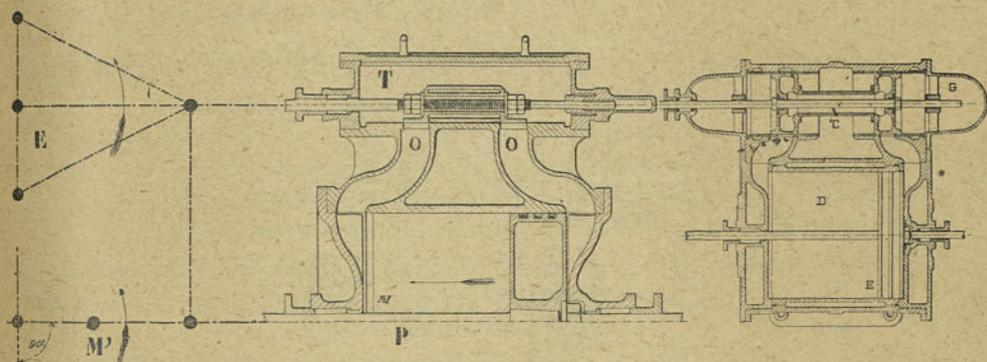


Fig. 134. — Schéma d'une pompe à gaz avec tiroir sans recouvrements.

Fig. 135. — Pompe à tiroir cylindrique.

Au début de l'aspiration, les 2 tiges, contrairement à ce qui se passe dans une machine à vapeur, marchent en sens inverse, et c'est pour cela que le calage de l'excentrique est ici à $90^\circ + \delta$ en retard au lieu d'être à $90^\circ + \delta$ en avance. Le recouvrement qui est encore augmenté par le retard n'est pas nuisible, puisqu'il correspond à la détente du gaz contenu dans les espaces nuisibles ou espaces morts. En pratique, on prolonge cette détente (en donnant une valeur suffisante au recouvrement intérieur) jusqu'à une tension légèrement inférieure à celle du milieu d'aspiration. Le recouvrement intérieur amènerait une fermeture anticipée notable de l'orifice d'aspiration en fin de course, les 2 tiges marchant dans le même sens. Il en résulterait un vide relatif très prononcé dans la cylindrée et une diminution notable du rendement volumétrique ; mais le retard angulaire diminue cette fermeture anticipée, ce qui prolonge l'aspiration presque jusqu'à la fin de la course (Voir le diagramme).

Au début du refoulement, les 2 tiges allant encore en sens inverse, le recouvrement extérieur occasionne un retard au refoulement qui est encore augmenté par le retard angulaire δ . Le tiroir ne commence à découvrir l'orifice de refoulement que lorsque le piston a parcouru

une certaine fraction de sa course. Ce retard au refoulement n'est pas nuisible, puisqu'il correspond à la compression nécessaire pour donner à la cylindrée une tension égale ou se rapprochant de celle du refoulement. Le recouvrement extérieur amènerait aussi une fermeture anticipée notable de l'orifice de refoulement en fin de course, les 2 tiges allant dans le même sens ; mais le retard angulaire δ diminue cette fermeture anticipée, ce qui prolonge le refoulement *sans surpression*, presque jusqu'à la fin de la course.

L'angle de calage est choisi de manière à donner la compression voulue au commencement du refoulement. En admettant que le gaz

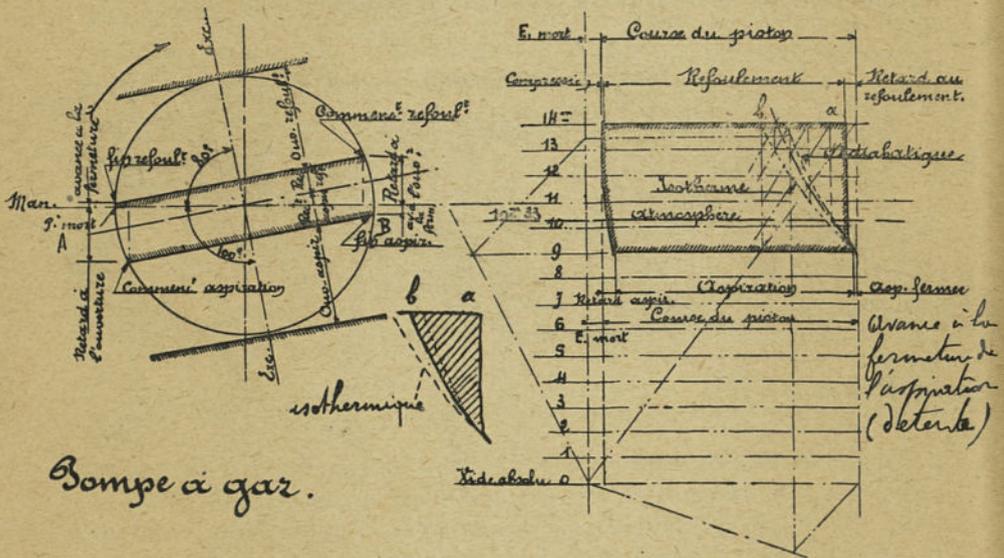


Fig. 136. — Epure circulaire de Reech pour pompe à gaz.

soit aspiré sous une hauteur manométrique de 9 m. d'eau et refoulé sous une pression de 14 m. d'eau, l'espace nuisible étant de 6 p. 100 par exemple, le piston devrait avoir parcouru (en supposant $p_v = c^{10}$)

$$(100 + 6) 9 = (100 - x + 6) 14 \text{ d'où } x = 38 \text{ p. } 100$$

environ de la course avant que le tiroir découvre l'orifice de refoulement. En pratique, ce retard est beaucoup plus faible ; il n'est que de 3 à 4 p. 100, soit $1/30$ à $1/25$.

Pour plus de clarté nous allons recourir à une épure. La figure 136 représente l'épure circulaire de Reech et le diagramme correspondant d'une pompe à gaz. L'angle de calage est de $90^\circ + \delta$. Généralement $\delta = 8$ à 10 degrés ; ici 10 degrés. Les recouvrements intérieurs donnent ici un retard à l'ouverture de l'aspiration de 5 p. 100 et une avance à la fermeture de 0,5 p. 100. Les recouvrements intérieurs

donnent un retard au refoulement de 4 p. 100 et une avance à la fermeture de 0,3 p. 100.

Pour empêcher d'une façon certaine la communication de l'aspiration et du refoulement, l'aspiration ne commence qu'un peu après le point mort et se termine un peu avant le point mort opposé, l'aspiration est donc prolongée presque jusqu'à la fin de la course.

Il suffirait d'ouvrir l'orifice de refoulement lorsque le gaz comprimé a atteint la tension au refoulement. La compression se faisant suivant une ligne comprise entre l'isothermique ($pv = \text{constante}$) et l'adiabatique ($pv^\gamma = \text{constante}$, $\gamma = 1,41$ pour l'acid carbonique) il suffirait d'ouvrir l'orifice au moment où le piston arrive en b (point où la courbe intermédiaire coupe l'abscisse), c'est-à-dire quand le piston a parcouru 30 p. 100 environ de sa course ; mais à cause de la distribution par tiroir, on est obligé, dans le but de prolonger le refoulement (de refouler presque toute la cylindrée) et de ne pas augmenter la compression en fin de course, d'ouvrir le refoulement (échappement) en a, bien avant l'instant où la pression dans le cylindre atteindrait celle du réservoir de refoulement ; il en résulte un supplément de travail représenté par la partie hachurée, le rendement dynamique est un peu plus faible, mais par suite de l'absence de contre-pression à la fin de la course, le rendement volumétrique est augmenté. Dans les pompes très soignées, on augmente à la fois le rendement volumétrique et le rendement dynamique par l'emploi de la compensation. Dans ce cas on augmente le recouvrement intérieur, il en résulte une compression plus forte en fin de refoulement ; mais la compensation permet d'ouvrir l'aspiration plus tôt, ce qui correspond à une augmentation de rendement volumétrique.

Le système de compensation le plus employé est celui de Burckhardt et Weiss. Il consiste à faire venir dans l'épaisseur de la coquille du tiroir, un conduit, qui, à la fin de la course du piston, fait communiquer les deux extrémités du cylindre. Le gaz comprimé d'un côté du piston et dans les espaces nuisibles se détend l'autre côté.

Le rendement volumétrique R_v d'un compresseur est donné par

$$R_v = \frac{1 - \frac{t}{s} \times e}{1 - e}$$

la formule $R_v = \frac{1 - \frac{t}{s} \times e}{1 - e}$ t et s étant les tensions au refoulement et à l'aspiration et e l'espace nuisible par unité de volume.

Supposons un espace nuisible de 1/10, soit 0,1 ou 10 p. 100, une tension au refoulement de 14 m. d'eau et une tension à l'aspiration de 9 m. Nous avons pour le rendement volumétrique :

$$R_v = \frac{1 - \frac{14}{9} \times 0,1}{1 - 0,1} = 0,939$$

Le rendement est donc de 93,9 p. 100. Avec compensation on aurait :

$$R'v = \frac{1 - \frac{t}{s}e^2}{1 - e^2} = \frac{1 - \frac{14}{9} \times 0,1^2}{1 - 0,1^2} = 0,9944$$

L'avantage est assez faible. Cela tient à ce que le rapport $\frac{t}{s} = 1,55$ est lui-même faible. On peut donc réaliser de bonnes pompes à gaz même sans compensation (il en est tout autrement avec les pompes à air comme nous le verrons). D'autre part, il y a toujours des poussières qui font gripper les tiroirs et le cylindre, au point que des fuites sérieuses se produisent et rendent illusoire les avantages de la compensation. La pompe à gaz devant marcher continuellement pour éviter toute irrégularité dans l'allure du four à chaux, elle doit avoir un moteur spécial ; aussi est-elle toujours actionnée directement.

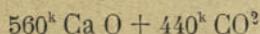
La figure 135 représente une pompe à gaz à tiroir cylindrique. Ce système est avantageux pour les très grosses pompes, parce que ce tiroir est équilibré. Chaque piston creux porte de petits canaux radiaux pour la compensation (Construction Mollet, Fontaine et Cie, Lille).

Capacité productive. — Volume de gaz acide carbonique à pomper

L'acide carbonique est produit à la fois par le calcaire et le coke

Décomposition du Calcaire

1000 K. de calcaire pur (Ca CO_3) fournissent :



1000^k à 92 p. 100 Ca CO_3 donneraient :

$$\frac{1000 \times 92 \times 56}{100 \times 100} = 515^k \text{ Ca O}$$

Les 90 p. 100 seront seuls solubles soit :

$$\frac{515 \times 90}{100} = 463^k$$

Le poids de CO_2 dégagé est de :

$$\frac{1000 \times 92 \times 44}{100 \times 100} = 405^k$$

Combustion du Coke

90^k de coke ou 80^k de carbone pur exigeront :

$$80 \times \frac{16}{6} = 213^k 330 \text{ d'oxygène ce}$$

introduira en même temps dans le

$$\text{four : } 213,33 \times \frac{77}{23} = 714^k \text{ d'azote.}$$

L'acide carbonique provenant du coke occupera :

$$\frac{213^k 33 + 80}{1,532} = 192.120 \text{ l.}$$

Un litre d'azote à 60° pèse :

$$1,293 \times 0,972 \times \frac{1}{1 + 0,60} \times \frac{720}{76} = 0,975$$

Un litre de CO_2 à la sortie du four, à 60°C et à la tension de $720 \frac{\text{m}}{\text{m}}$ pèse :

$$1.293 \times 1.529 \times \frac{1}{1+0.60} \times \frac{720}{760} = 1^{\text{e}}532$$

Les 405^{k} occuperont un volume de

$$\frac{405.000}{1^{\text{e}}532} = 264.360 \text{ litres.}$$

Les 714 kil. occuperont un volume de :

$$\frac{714.000^{\text{e}}}{0^{\text{e}}975} = 732.300 \text{ litres.}$$

A ajouter à l'acide carbonique provenant du coke et du calcaire.

Le volume total de gaz est de :

$$264.360 \text{ (CO}_2\text{)} + 192.120 \text{ (CO}_2\text{)} + 732.300 \text{ (Az)} = 1188 \text{ mc } 780 \text{ l}$$

L'acide carbonique occupant un volume de 456 mc 500 l, la richesse théorique du gaz est de 38,4 p. 100.

Supposons une usine râpant 700 tonnes par 24 h. et employant

3 k 100 de chaux par 100 k ou $\frac{31 \times 1000}{463} = 67 \text{ k}$ de calcaire par tonne

soit 21.700 k. de chaux ou 46.870 k. de calcaire.

Le volume de gaz sortant du four sera par heure de :

$$\frac{1188 \text{ mc } 78 \times 46.870}{100 \times 24} = 2321 \text{ mc}$$

Si la richesse du gaz au lieu d'être de 38,4 n'est que de 30 p. 100,

ce volume sera de $2321 \times \frac{38,4}{30} = 2970 \text{ mc}$ par heure ou $\frac{2970}{60} = 49 \text{ m. } 50$ par minute.

En bonne marche, le gaz contient 30-32 p. % de CO_2 avec de l'azote, de l'oxygène et point d'oxyde de carbone. S'il y a trop de coke dans le mélange et que la pompe n'aspire pas un léger excès d'air, la zone de combustion augmente de hauteur, et il y a production d'oxyde de carbone CO , comme dans un gazogène, car l'acide carbonique formé à la partie inférieure est réduit en partie en traversant la couche de coke qui devient rouge sombre.

La température du four peut s'abaisser de ce fait jusqu'au point où la décomposition du calcaire ne se fait plus. L'ouvrier chauffournier constate alors ce fait, qui lui semble paradoxal, qu'ayant augmenté la proportion de combustible, il est arrivé à ne plus cuire du tout. C'est alors que le contre-maître intervient et fait activer la soufflerie, ce qui, fait sans précautions, ne tarde pas à produire un collage !

Dimensions de la pompe à gaz

Supposons que la pompe marche à 35 tours et ait un diamètre de 1 m. Le rendement volumétrique pratique est de 90 p. 100 pour les pompes à gaz bien construites sans compensation et de 95 à 98 p. 100 pour les pompes à compensation. Comptons 90 p. 100. Supposons

que la pompe marche à 35 tours et que le piston ait 1 m. de course, la section du cylindre devra être de

$$S \times 1 \times 2 n \times \frac{90}{100} = 49 \text{ m}^3 500, \quad S = \frac{49,500 \times 100}{2 \times 35 \times 90} = 0,7857$$

soit un diamètre de 1 m. 00.

Travail à fournir à la pompe à gaz. — On peut compter sur une pression moyenne au cylindre à gaz de 0 k. 2, sur une vitesse de 35 tours et sur un rendement dynamique de 70 %. Pour la pompe de 1 m. de diamètre et 1 m. de course, le travail à fournir par le moteur sera donné par la formule

$$T = \frac{Spv}{0,70} \quad S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{31,400}{4} = 7850 \text{ p} = 0,2, v = \frac{35 \times 2 \times 1}{60} = 1 \text{ m } 16 \text{ p. sec.}$$

Donc :

$$T = \frac{7850 \times 0 \text{ k } 2 \times 1,16}{75 \times 0,70} = 35 \text{ HP}$$

Ventilateur aspirant à gaz. — A la sucrerie d'Escaudœuvres (Cambrai), le gaz acide carbonique est aspiré sous une dépression de 40 cm d'eau, et est refoulé sous une pression de 60 cm d'eau au-dessus de l'atmosphère, par un ventilateur Sautter-Harlée, accouplé directement à un moteur triphasé Boucherot, genre β (inducteur formé de 2 stators fixes, dont l'un comporte plusieurs enroulements, et 2 rotors en court-circuit) de 86 chevaux sous 330 volts.

Tuyauterie des gaz du four à chaux.

Pour déterminer les diamètres à donner à ces tuyauteries, on prend des diamètres approximatifs, et on vérifie par le calcul que les pertes de charge seront assez faibles pour ne pas nuire à la bonne marche de l'appareil.

La perte de charge ou charge déterminant l'écoulement d'un gaz ou d'une vapeur passant dans un tuyau, peut se calculer par la formule de Poncelet et Péclét.

$$h = p_1 - p = \frac{\delta V^2}{2g} \left(1 + A + \frac{K L}{D} + n \sin^2 i \right)$$

h : hauteur d'eau en mètres, représentant la perte de charge ou la pression déterminant l'écoulement ;

V : vitesse moyenne pratique du gaz ou de la vapeur en mètres ;

g : accélération de la pesanteur : 9,81 ;

A : coefficient de contraction à l'entrée du tuyau = 0,83 ;

K : coefficient de frottement contre la paroi = 0,024 ;

L et D : longueur et diamètre du tuyau en mètres ;

δ : densité du gaz ou de la vapeur au mètre cube ;

n : nombre de coudes — i : angle formé par le coude.

Comme ce n'est pas la vitesse qui nous intéresse, remplaçons-la par le débit. Le débit en poids de gaz ou de vapeur par seconde est

$$Q = V \times S \times \delta \quad \text{— } S \text{ section en mq — Vitesse en mètres } V = \frac{Q}{S \times \delta}$$

$$h = p, - p = \frac{\left(1 + A + \frac{KL}{D} + n \sin^2 i \right) Q^2}{2 g' S^2 \delta}$$

En sortant du four, les gaz aspirés par la pompe ont 800 à 900° ; ils se refroidissent et n'ont plus que 30 à 40° en sortant du laveur.

En désignant par v et v' les volumes aux températures t et t' , on a

$$v' = v [1 + \alpha (t' - t)]$$

En prenant $t=30$ $t'=850$, on a $v' = v (1 + 0.00367 \times 820)$;

$$v' = v (1 + 3) = 4 v$$

D'après la formule de Poncelet, il est facile de voir que pour avoir la même perte de charge, il faudra que :

$$S'^2 \delta' = S^2 \delta \text{ ou } \frac{S'^2}{v'} = \frac{S^2}{v} ; \frac{S'^2}{4v} = \frac{S^2}{v} ; S'^2 = 4 S^2, S' = 2 S.$$

Le tuyau allant du four jusqu'au laveur, devra donc avoir une section double de celle du tuyau allant du laveur à la pompe.

En réalité, les gaz sortant du four à chaux n'ont pas 800 à 900°, car ils se sont refroidis au contact des charges fraîches. Avec les fours étroits et hauts (Khern), le refroidissement est tel, que la température de sortie du gaz n'est guère que de 200°. Toutefois, pour le calcul, il faut, par prudence, admettre $t=850^\circ$, possible avec certains fours dans lesquels le feu est toujours aux charges.

La tuyauterie de gaz est généralement en tôle rivée. On exigera une perte de charge d'autant plus faible que l'on se trouvera moins

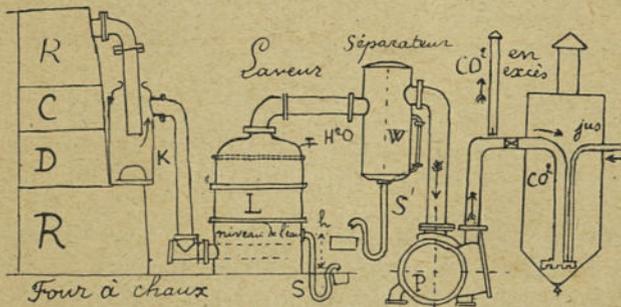


Fig. 137. — Ensemble de four avec laveur et pompe.

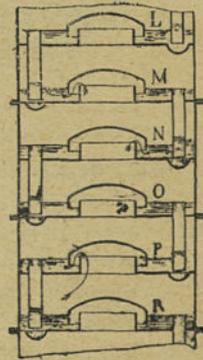


Fig. 138. Plateaux à calottes.

limité dans la dépense de première installation, et que les chances d'agrandissement de l'usine seront plus grandes.

Lorsque la tuyauterie de gaz est longue et en ligne droite, il faut compenser la dilatation de la tôle par des soufflets que l'on intercale dans les parties droites du tuyautage, principalement entre le four et le laveur, et qui empêchent la rupture des joints.

Purification du gaz carbonique. — Le gaz sortant du four à chaux est toujours chargé de poussières de coke, de craie et de traces d'aci-

des sulfureux, sulfurique et de NaCl, de KCl, de $K^2 SO^4$, etc... Généralement, on le fait d'abord passer par un cendrier ou boîte à poussières K qui élimine les matières solides les plus grossières, puis il passe dans un laveur méthodique analogue aux appareils à distiller, employés dans l'industrie. C'est une colonne verticale L composée de plusieurs tronçons boulonnés les uns au-dessus des autres avec joints étanches ; entre chacun d'eux se trouve un plateau perforé d'un grand nombre de trous ou d'un trou central avec cheminée recouverte par une cloche. Dans les deux cas, chaque plateau porte, en outre, un tuyau formant manchette et descendant dans une cuvette qui présente le plateau situé en dessous (Fig. 137, 138, 139).

Le gaz entre à la partie inférieure, chemine en montant, passe par les trous des plateaux perforés ou par les cloches, se lave au contact intime de l'eau et sort à la partie supérieure pour se rendre à la pompe à gaz. L'eau arrive par le haut, descend par les tuyaux de trop

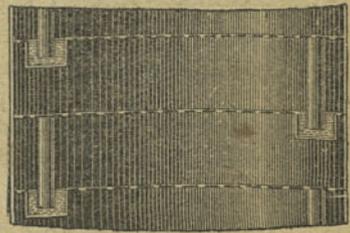
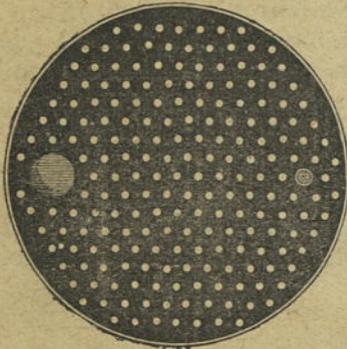


Fig. 139. — Plateaux perforés et tuyaux de trop plein.

plein, de plateau en plateau et s'écoule par un siphon S, dont la longueur est suffisante pour que la différence de hauteur de l'eau dans les deux branches, fasse équilibre à la dépression produite par la pompe à gaz.

Laveur à cataracte. — Quand on a de l'eau fort calcaire, l'appareil précédent peut se boucher ; on remplace alors les plateaux perforés ou les plateaux à calottes par de simples diaphragmes, n'occupant que la moitié de la section du laveur, et fixés sur la calandre alternativement à droite et à gauche.

Quel que soit le laveur employé, l'eau doit passer en courant continu, assez peu abondant pour qu'elle sorte du laveur à une température assez élevée, pour éviter la dissolution de l'acide carbonique.

L'eau contenue dans les tubes indicateurs de la dépression dans la tuyauterie, entre le laveur et la pompe, ne doit pas accuser de trop grandes variations de niveau, qui seraient dûes à un fonctionnement irrégulier des laveurs.

Pour empêcher que l'eau entraînée par le gaz sortant du laveur, ne soit entraînée dans la pompe, il est bon d'intercaler dans la conduite un séparateur d'eau, muni d'un siphon S'. D'un autre côté, il n'est pas recommandable d'envoyer à la pompe un gaz complètement sec, ce qui exigerait un très fort graissage. Les petites quantités de poussières qui se trouvent dans le gaz, même après lavage, forment avec l'huile une masse d'abord onctueuse mais qui plus tard devient dure et contrarie le fonctionnement de la pompe. Il est donc préférable de maintenir le gaz toujours un peu humide et, quand il est sec, d'injecter dans le cylindre un peu d'eau qui suffit entièrement pour la lubrification, en sorte que l'on économise de la graisse. (H. Claassen).

CHAPITRE XI

Filtration des jus

Filtres-presses. — Nous avons vu que ce sont les perfectionnements apportés aux filtres-presses vers 1864 qui ont rendu pratiques le travail par défécation trouble de Ielinek en Autriche et en Allemagne et le travail par double carbonatation en France.

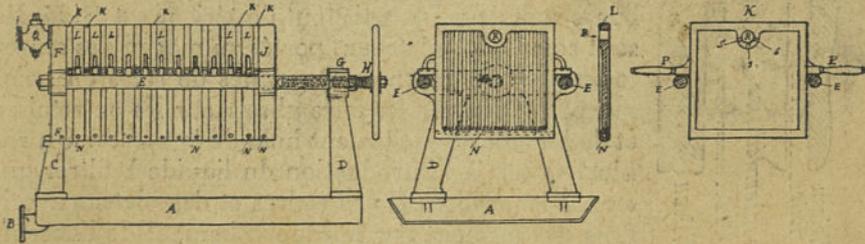


Fig. 140. — Filtre-presse primitif Danek (construction Gail).

Le filtre-presse fut d'abord employé en Angleterre vers 1834 par Howard pour remplacer le filtre à poches de Taylor (voir plus loin) ; il fut aussi employé à partir de la même époque sous le nom de filtre-presse à chambres de Needham et Kite pour l'égouttage des pâtes céramiques et dans les brasseries anglaises pour presser la levure. Ce fut Jacquier, mécanicien français de la sucrerie Robert, à Seelowitz qui donna à Danek de Prague les indications pour l'établissement de ces filtres, que ce constructeur fabriqua d'abord en bois puis en fonte. Ces filtres étaient carrés ou ronds ; le canal d'alimentation était en haut ; ce fut Trinks qui le plaça au milieu.

En principe, le filtre-presse se compose d'une série de chambres verticales très étroites, garnies de surfaces filtrantes constituées par des toiles reposant directement sur les parois de la chambre qui sont alors munies de cannelures, ou bien reposant sur un double fond perforé fixé sur les parois des chambres. La façon dont sont formées les chambres nous amène à distinguer deux systèmes : le filtre-presse à cadre intermédiaire et le filtre-presse sans cadres.

Filter-press Danek, ou f. p. à cadres (Rahmen filter-press ; Flush plate and frame filter-press, c'est-à-dire f. p. à plateaux plats et à cadres).

Une cuvette A servant à recueillir le jus clair filtré, et munie d'une tubulure B pour l'évacuation, porte 2 chaises C et D boulonnées. La chaise C reçoit le fond fixe ou plateau terminal F et la chaise D reçoit les 2 barres porteuses ou tirants. La partie supérieure forme une traverse taraudée G dans laquelle passe une vis de serrage H munie d'un volant. Les tirants ou entretoises E relie le fond fixe F à la chaise D et portent le fond mobile J, les cadres creux K et les plateaux filtrants intermédiaires. (Fig. 140).

Chaque plateau filtrant L, de 50 m/m d'épaisseur et 600×600 a ses bords dressés et porte, sur chaque face, des cannelures dont les creux aboutissent par de petits trous à un canal collecteur N ménagé dans la fonte et débouchant à l'extérieur. Les fonds F et J sont également cannelés, mais sur une seule face; ils ont aussi un canal collecteur.

Les cadres ont 30 à 35 m/m d'épaisseur, leurs bords sont dressés, mais tout l'intérieur est évidé. Ils sont comme les plateaux, portés au moyen des entretoises par des poignées P garnies de soies en bois, qui permettent de les faire glisser sur les entretoises et de les enlever facilement hors de la presse. Un robinet Q sert à l'introduction du liquide à filtrer qui emplit les orifices R des cadres et des plateaux, orifices qui forment par le rapprochement de l'ensemble un canal régnant jusqu'au fond mobile où il s'arrête, ce fond n'ayant pas d'orifice. La répartition du jus se fait dans chaque cadre par de petits trous SSS faisant communiquer le canal R avec l'évidement du cadre (fig. 140 et 141).

Chaque plateau filtrant est garni d'une forte toile de chanvre qui se pose à cheval, pour bien couvrir les cannelures et les bords dressés.

De même les 2 fonds sont garnis d'une demi-toile couvrant tout le côté cannelé. Dans les toiles ont été ménagés à l'avance des trous correspondant aux orifices R. L'appareil étant serré au moyen de la vis, les toiles forment joints entre les cadres et les plateaux, et il n'y a plus qu'à introduire sous une certaine pression (3 à 4 k. par cmq) les jus troubles ou la boue des décanteurs, pour voir couler le liquide clair par les orifices N au bas des plateaux. L'écume est retenue par le tissu dans l'évidement de chaque plateau où le précipité durcit peu à peu pour former un tourteau compact. Quand il ne sort plus de jus clair que goutte à goutte, on ferme le robinet Q et on débâtit le filtre-press. Pour cela, on desserre la vis et on tire le fond mobile J contre

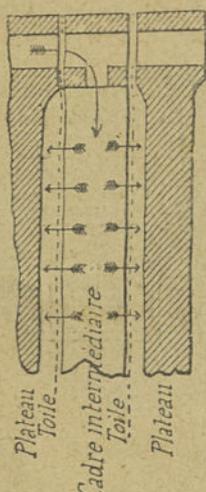


Fig. 141.

la traverse G ; deux hommes dégagent successivement chacun des cadres et font tomber le tourteau d'écume qu'il contient. Cet appareil

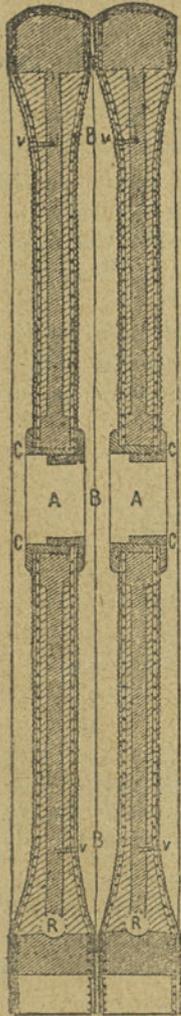


Fig. 142.

présente les inconvénients suivants : 1° Le joint entre les cadres et le plateau est fait par une simple toile, il donne parfois des fuites en tout cas la toile s'use assez rapidement ; 2° La matière contenue dans le cadre arrive en contact avec le métal plus ou moins poreux de ce cadre, d'où difficulté de nettoyage ; 3° quand on ouvre la presse, on est obligé de pousser l'écume, d'où supplément de main-d'œuvre ; 4° Les cadres n'ayant qu'une épaisseur de 30 mm., cassent facilement.

Filter-press sans cadres ou à chambres, de Trinks (Kammer Filter Presse. — Recessed plate filter press). — Inventé par Trinks, importé et construit en France par Farinaux (actuellement Mollet-Fontaine), à Lille, ce filtre eut un grand succès à cause des avantages qu'il présente sur le Danek. Beaucoup de sucreries l'ont encore dans sa forme primitive pour la filtration des jus de 2° carbonatation. Il se compose d'une série de plateaux filtrants AA', BB', CC', DD', (fig. 143) excavés sur leurs deux faces creux de 15 mill.) et serrés les uns contre les autres.

La juxtaposition de deux creux forme une chambre filtrante donnant un tourteau de 30 m/m d'épaisseur. Les rebords de chaque plateau sont dressés, tandis que la partie intérieure plus mince, l'âme du plateau porte des cannelures verticales et est percée d'un gros trou central AA (fig. 142), où se fait l'introduction du liquide à filtrer. A cheval sur chaque plateau, se trouve posée une toile portant des trous correspondant à l'orifice central A. La toile est serrée contre la fonte par une couture au passe-corde, ou

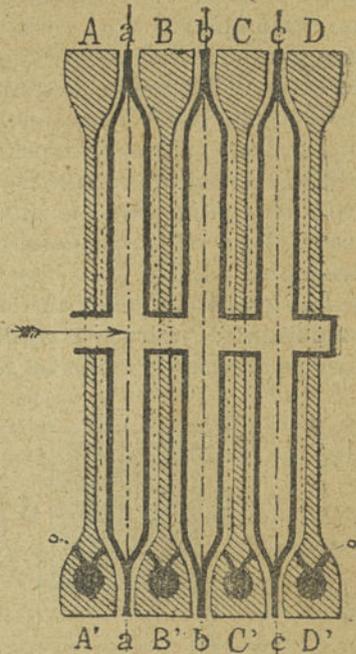


Fig. 143. — Plateaux.

mieux par une douille filetée CC, sorte d'écrou en bronze en 2 pièces dont les bords compriment le tissu pour faire joint et empêcher le liquide trouble de pénétrer dans les canelures. Le liquide filtré s'écoule par de petits trous OO dans un canal R logé dans la partie inférieure et aboutissant à un robinet fixé sur le plateau et déversant dans une gouttière latérale. Fréquemment au lieu d'appliquer directement la toile sur l'âme du plateau, on garnit celle-ci d'une toile perforée fixée par des vis VV sur une portée qui présentent les rebords. Cette disposition diminue la tension de la toile et par suite son usure, et elle permet au liquide un écoulement plus facile le long des canelures ; par contre elle a l'inconvénient de diminuer l'épaisseur des tourteaux et par suite d'obliger à *débâter* plus souvent. Le nettoyage est aussi plus difficile.

Les gros traits noirs du schéma ABCD A'B'C'D' indiquent le tissu filtrant ; les traits pointillés.... indiquent la carcasse qui maintient la chausse et empêche sa déformation. Enfin, la partie couverte

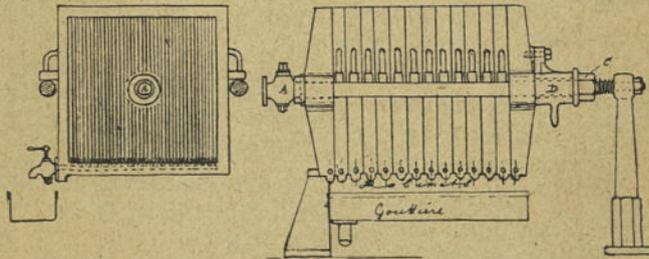


Fig. 144. — Filtre-press Trinks (construction Farinaux).

de hachures représente une enveloppe rigide qui sépare chaque chausse, opère par la juxtaposition de ses bords, une jonction étanche des deux parties de la chausse et sert de récipient pour recevoir le liquide filtré.

Le serrage des plateaux se fait par deux gros écrous C (fig. 144), placés sur les entretoises, mais pour faciliter la manœuvre et la rendre plus rapide, un manchon D sert d'intermédiaire entre l'écrou et le fond mobile.

Le liquide à filtrer arrivant sous pression soit d'un monte-jus, soit d'une pompe, soit d'un réservoir supérieur, dans le sens de la flèche, remplit successivement toutes les chausse qui sont en communication par le centre. La pression applique les tissus filtrants contre leur enveloppe perméable, la partie claire filtre, coule le long des séparations et vient par les orifices OO, se rassembler dans le canal collecteur R ménagé dans ces séparations. De là il s'écoule au dehors. Pendant ce temps, la matière solide remplit toutes les chausse, s'y agglomère, s'agglomère par la pression du liquide et finit par obstruer com-

plètement le passage de celui-ci. Le filtre-pressé cesse alors de débiter; il faut alors le débâter et le nettoyer. Pour cela il suffit de desserrer chaque écrou C d'un tour et de lever les manchons D pour obtenir l'écartement voulu pour vider. En écartant un à un tous les plateaux de manière à séparer chacune des moitiés des poches filtrantes, la matière solide qui s'y est accumulée sous forme de galette, de *tourteau*, se détache d'elle-même et tombe sous l'appareil où se trouve une trémie.

Désucrage des écumes (Schlamm-Aussüßung: scum desugarizing). C'est dans les formes primitives qui viennent d'être décrites que les filtres-presses furent employés en Allemagne jusque vers 1875 et en France jusqu'en 1884. On avait constaté que, sous leur apparence sèche et compacte, les tourteaux d'écumes retenaient beaucoup de jus et jusqu'à 4 et 5 p. 100 de sucre; aussi les Allemands, stimulés par leur système d'impôt, ne tardèrent pas à chercher à récupérer ce sucre en partie, soit en pressant entre des tissus les tourteaux des Danek empilés dans une presse hydraulique, soit en malaxant avec de l'eau les écumes plus sèches des Trincks pour les represser dans une 2^e série de filtres-presses.

Lavage absolu. (Absolute Auslaugung; Absolute Washing). On appelle ainsi le désucrage des tourteaux dans le filtre-pressé même où ils ont été formés. Comme cela complique un peu l'appareil, les filtres-presses à lavage sont généralement de grandes dimensions. Dehne de Halle-sur-Saale construisit les premiers grands filtres-presses à plateaux de 1 m. × 1 m., donnant jusqu'à 50 tourteaux par opération (filtre-presses monstres). Ces appareils sont munis d'un système spécial de fermeture qui a été reproduit par la plupart des constructeurs. La pression qui règne dans un filtre-pressé étant de 3 à 4 k. par cmq, l'effort qui tend à écarter le fond mobile de 1 mq est de 40.000 k.; il faut donc un serrage assez puissant pour l'équilibrer, et, en outre, pour comprimer suffisamment les nombreuses toiles et assurer l'étanchéité de tous les joints des plateaux.

La vis centrale de Danek ne convient qu'aux petits filtres-presses; les écrous de Trincks sont plus puissants, mais les frottements s'opposent à ce qu'ils puissent être tournés suffisamment, même avec de grandes clefs. Nous étudierons plus loin les systèmes de serrage adoptés par les constructeurs.

Principe du lavage. — Supposons que l'on fasse une coupe verticale XY (fig. 145) d'un filtre-pressé à chambres entre l'axe de l'appareil et l'un des tirants.

Le fond ou plateau terminal est en 1, les plateaux sont en 2, 3, 4, 5... etc. Les tourteaux d'écume A, B, C, D, ont été formés entre les toiles qui s'appuient sur des tôles perforées (à trous de 4 m/m.) fixées par des vis sur les cannelures;

$R^1 R^2 R^3$, etc., figurent les robinets par où s'écoule le jus clair filtré; lorsque ces robinets cessent de couler, ce qui indique que le filtre-pressé est plein d'écumes, on ferme le robinet principal d'introduction de jus trouble et on procède comme suit au lavage des tourteaux. On ferme les robinets $R^1 R^3 R^5$, soit ceux de nombre *impair*; puis on introduit de l'eau sous pression, par un canal *ad hoc* (non figuré) en communication avec les orifices E, E, E, de façon à remplir les intervalles des cannelures derrière les tôles perforées des plateaux impairs 1, 3, 5... Pour que cet emplissage soit complet, on ouvre les robinets d'air I jus-

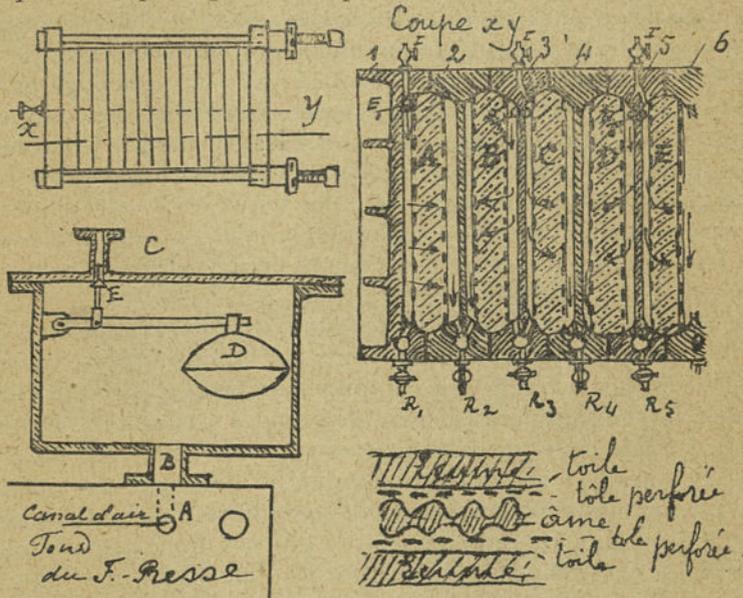


Fig. 145. — Schéma du lavage et clapet automatique de meillage.

qu'à ce qu'ils donnent de l'eau. Sous l'action de la pression, l'eau traverse les tourteaux pour venir couler à l'état de petit jus dans les espaces vides derrière les tôles perforées des plateaux pairs 2, 4, 6... et s'évacuer par les robinets $R^2 R^4$, restés ouverts, dans une gouttière placée au-dessous.

Pour le meillage, on peut employer le clapet automatique R Quarez. Le canal d'air A communique par B avec un petit réservoir dans lequel se trouve un flotteur D, qui soulève le clapet E et ferme l'orifice d'échappement d'air C, quand tout l'air est chassé.

Les plateaux impairs sont appelés *distributeurs* ou *plateaux à eau*, les plateaux pairs se nomment *collecteurs* ou *plateaux à jus*.

L'aménagement des canaux et orifices de distribution de l'eau et de réception des petits jus, varie suivant les constructeurs avec des résultats plus ou moins parfaits. Il s'agit d'obtenir le maximum de désucra-

ge avec le minimum d'eau employée, car cette eau, il faudra ultérieurement l'évaporer.

La disposition la plus simple est celle qui consiste à ménager dans les angles supérieurs des plateaux des trous A et E (fig. 146) qui forment par la juxtaposition des plateaux, deux canaux traversant tout l'appareil. Ces canaux sont fermés par des joints pleins sur le fond mobile, tandis que sur le fond fixe ils sont fermés par des robinets, le robinet de A sert à évacuer l'air et celui de E est relié à la conduite d'eau sous-pression venant d'un monte-jus ou d'une pompe. Les pla-

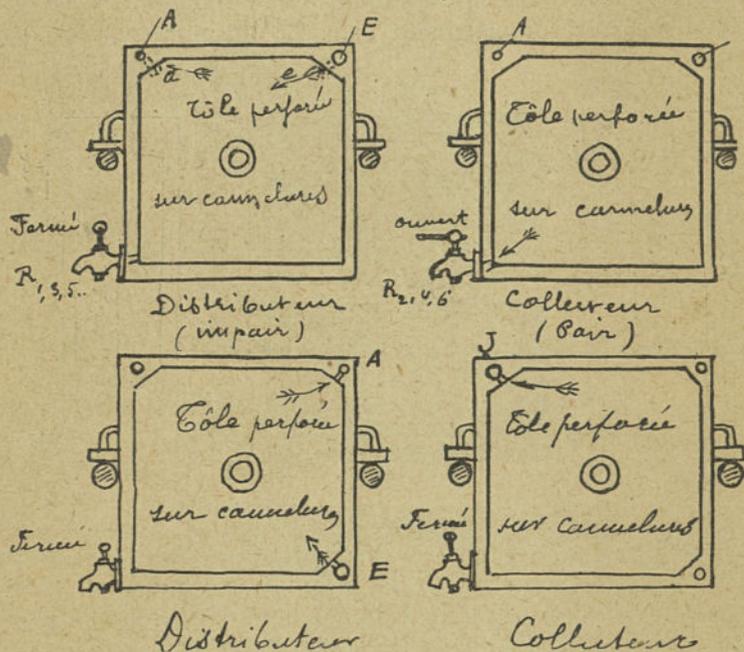


Fig. 146 et 147. — Lavage descendant et lavage ascendant.

teaux distributeurs portent, venues de fonte, de petites communications a, e, faisant communiquer les canaux A et E avec l'espace vide compris entre les cannelures et les tôles perforées. On ferme d'abord les robinets à bec des plateaux distributeurs. Tandis que l'eau de E pénètre par e, l'air s'échappe par a dans le canal A, dont on ferme le robinet quand il donne de l'eau. Le lavage se fait alors par les robinets à bec (pairs) des plateaux collecteurs, comme nous l'avons vu précédemment.

On reproche à cette disposition de ne pas désucre le tourteau également dans toute sa hauteur ; le bas du tourteau est bien lavé alors que le haut l'est moins.

Pour obtenir un meilleur lavage, on fait entrer l'eau par le bas et

sortir le petit jus par le haut de sorte que les tourteaux sont complètement baignés de liquides (fig. 147).

La fig. 148 représente le schéma d'un filtre-pressé à alimentation centrale A et à lavage absolu ascendant. L'eau de lavage entre par E dans les cadres impairs et l'air est évacué par les petits canaux et par le canal a. Les petits jus sont collectés sur chaque face des cadres pairs, s'écoulent par les canaux j, puis par des robinets ou un canal.

Filtre-pressé à plateau à alimentation centrale et à lavage absolu de Wauquier. — Dans ce filtre-pressé, la première partie du lavage, le remplissage ou le meichage par l'eau de lavage, se fait de bas en haut, de façon à chasser complètement l'air. Le filtre-pressé étant plein

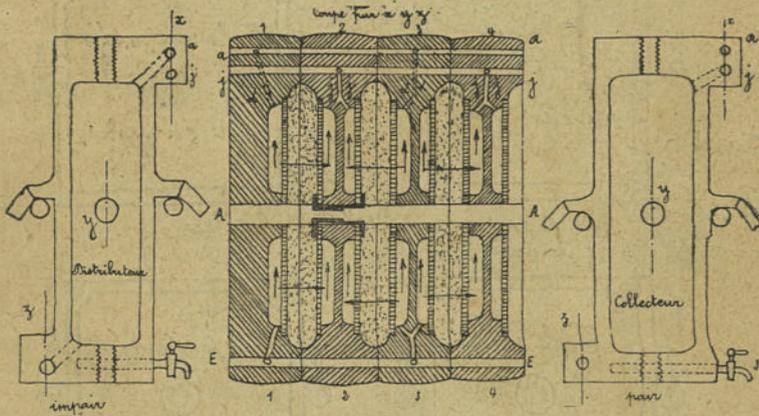


Fig. 148. — Filtre-pressé à plateaux à lavage ascendant.

d'écumes et les robinets C et L ne coulant presque plus, on ferme la soupape d'entrée d'écumes E et les robinets d'écoulement C et L. Pour chasser l'air, on ouvre le robinet d'entrée d'eau inférieur O, ainsi que les robinets d'air A, et lorsque ces derniers laissent couler du jus, on ferme les trois robinets O, A. Le lavage descendant se fait alors en ouvrant le robinet d'entrée d'eau supérieur O' et les robinets d'écoulement C des cadres pairs ; ceux L des cadres impairs restent fermés. L'eau qui entre en O, aux cadres impairs, traverse les tourteaux formés entre les plateaux pairs et impairs, et sort après avoir lavé ces tourteaux, par les robinets C des plateaux pairs (fig. 149).

Filtre-pressé à plateau et à lavage absolu F. Moret. — Ce filtre-pressé n'a que des plateaux. Chacun d'eux se compose d'un cadre en fonte portant un orifice; A, d'entrée du jus à filtrer ; B, d'entrée d'eau de lavage ; C, d'échappement d'air ; D, de sortie du jus filtré. Dans ce cadre, sont encastrés à chacune de leurs extrémités, 14 barreaux en fer, sur lesquels s'appuient 2 tôles perforées, fixées sur chaque face du cadre. La toile à cheval sur le plateau est maintenue par

un écrou raccord A, qui fait le joint autour du trou A. En D se place un robinet clapet pour l'écoulement du jus filtré. Les plateaux et barreaux en fer sont légers et solides, et il ne faut ni joints en caoutchouc, ni manchettes en toile, qui fuient fréquemment et sont d'un

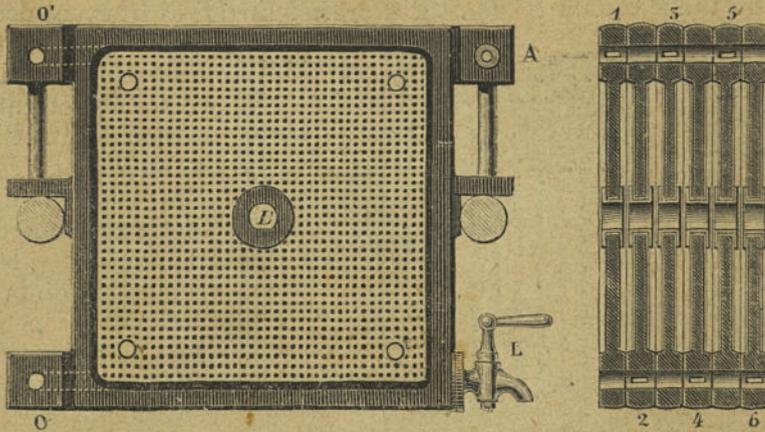


Fig. 149. — Cadre distributeur (Filtre-presse Wauquier, Lille).

entretien onéreux. Le lavage est *descendant*, c'est-à-dire dans l'ordre des densités (fig. 150).

Filtre-presse à plateaux, sans cadres de Mollet-Fontaine et Cie. —

L'alimentation est faite par un canal médial constitué par la juxtaposition des ouvertures médiales A (fig. 151), que présentent tous

les plateaux, et par de petits canaux faisant communiquer les ouvertures A des plateaux avec l'intérieur de ceux-ci. L'eau de lavage arrive dans le plateau distributeur en C, chasse l'air par E, et traverse le tourteau; le petit jus qui en résulte se réunit dans les plateaux collecteurs (à jus) et sort par le robinet D. Le lavage est *ascendant*, ce qui facilite le départ de l'air. Le serrage est obtenu de la façon suivante : Deux gros écrous II (fig. 151), sont placés sur les tirants qui portent les plateaux. On commence le serrage en vissant

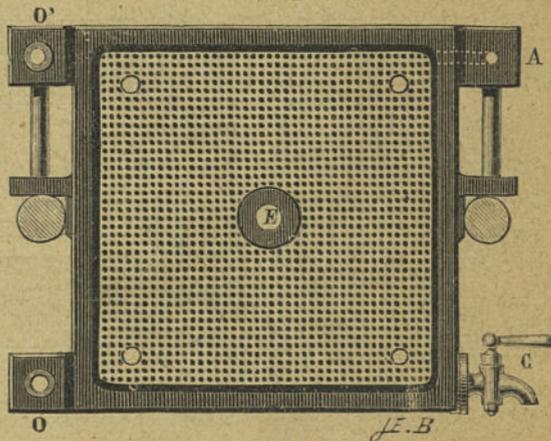


Fig. 149 bis. — Cadre collecteur.

ces écrous en même temps, pour éviter de briser les plateaux. Lorsque l'on ne peut plus tourner les écrous, on fait agir les leviers L L'. Ils sont articulés sur le fond fixe en OO' et formés chacun de deux flasques entretoisées, et suffisamment écartées pour enserrer l'extrémité du tirant, qu'un boulon PP' traverse. En JJ' se trouvent deux

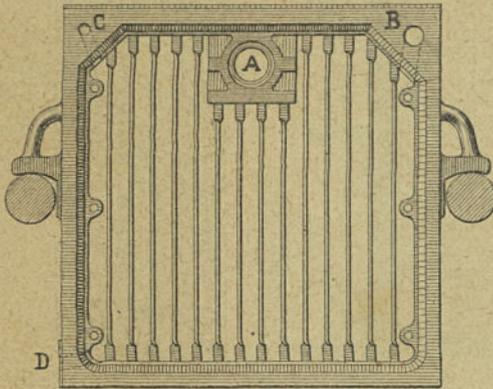


Fig. 150. — Plateau à grille F. Moret.

écrous pivotants, traversés par la tige filetée K, portant 2 pas contraires RR' et un volant V. Si l'on tourne la tige filetée de manière à rapprocher les écrous JJ', on produit par les petits bras de levier OP, OP' une traction mécanique sur les tirants portant les

plateaux, ces tirants étant simplement placés à frottement sur le fond fixe, le pied de devant et la colonne intermédiaire, quand le nombre de chambres atteint 50. Pour débâter la presse, on desserre la vis RR' puis les écrous JJ' et l'on écarte le fond mobile, au moyen de la crémail-

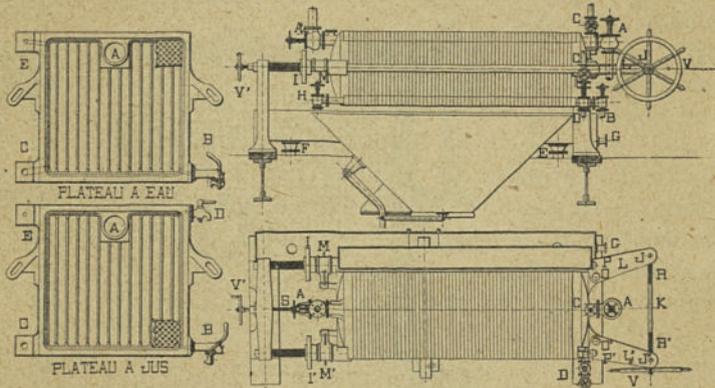


Fig. 151. — Filtre-pressé à plateaux et à lavage (Mollet-Fontaine).

lère ou de la vis S actionnée par le volant V'. Puis on écarte successivement chacun des plateaux pour faire tomber le tourteau d'écume. La vis S sert aussi pour repousser le fond mobile quand on referme la presse.

Filtre-pressé à toiles sans trous Rodolphe Quarez. — Pour n'em

ployer que des toiles sans trous, sans renoncer au filtre-pressé sans cadres R. Quarez adapta au filtre-pressé à plateaux les joints annulaires en caoutchouc pour les canaux d'eau et d'air, de même que pour celui du jus trouble. L'arrivée du jus trouble dans chaque chambre filtrante se fait d'une façon spéciale (fig. 152). A la partie supérieure

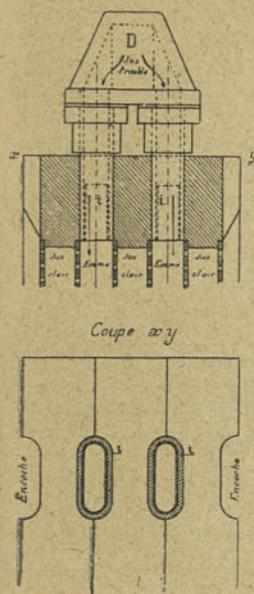


Fig. 152. — Filtre-pressé Quarez.

du plateau, le bord dressé est entaillé de deux encoches en forme de C dos à dos. Si l'on serre l'un contre l'autre deux plateaux, ces encoches forment une ouverture oblongue \emptyset . Un tube souple, en caoutchouc, de section également oblongue I pénètre dans cette ouverture qu'il ferme exactement. Le jus est amené par ce tube ou *douille d'introduction I*, entre les 2 toiles formant chambre filtrante, ces toiles contournant les encoches faites dans les bords. Chaque plateau collecteur porte une pièce D appelée distributeur qui se bifurque en 2 douilles d'introduction I distribuant le jus dans deux chambres filtrantes. La douille d'introduction, en caoutchouc extensible sous l'action de la pression, porte intérieurement une bague en métal flexible qui applique le caoutchouc contre la toile, de sorte que l'étanchéité est parfaite. R. Quarez a observé que dans un filtre-pressé à lavage absolu, l'eau ne se distribue pas également entre tous les plateaux. Ceux qui sont

près du robinet d'admission en reçoivent plus que ceux de l'autre extrémité. Le désucrage n'est donc pas uniforme, à moins de le pousser très loin avec une quantité d'eau excessive. Il a cherché aussi à faire le lavage dans l'ordre des densités, de façon à avoir un petit jus plus dense sans nuire à l'enlèvement de l'air. Dans ce but, il a établi un filtre-pressé en plaçant l'admission d'eau en A (fig. 153), la sortie d'air en F au plateau distributeur. Dans le plateau collecteur, le petit jus chasse d'abord l'air dans le canal E, puis il sort par l'angle inférieur G ; le robinet à bec D étant fermé, il monte dans un canal vertical H, ménagé dans l'épaisseur du bord qui aboutit dans le canal collecteur L. Le canal H est croisé par une vis M destinée à l'obstruer plus ou moins en vue de régulariser la sortie du petit jus de façon que chacun des tourteaux en donne une égale quantité. Mais par raison de solidité. Quarez a renoncé au petit canal vertical et il fait le lavage ascendant. De plus ses plateaux, au lieu d'avoir une âme et des cannelures en fonte, est formé d'un cadre épais (63 m/m) contenant un grillage de barreaux d'acier H rapportés (fig. 154) qui donnent au creux réservé aux tourteaux une régularité d'épaisseur, que l'on ob-

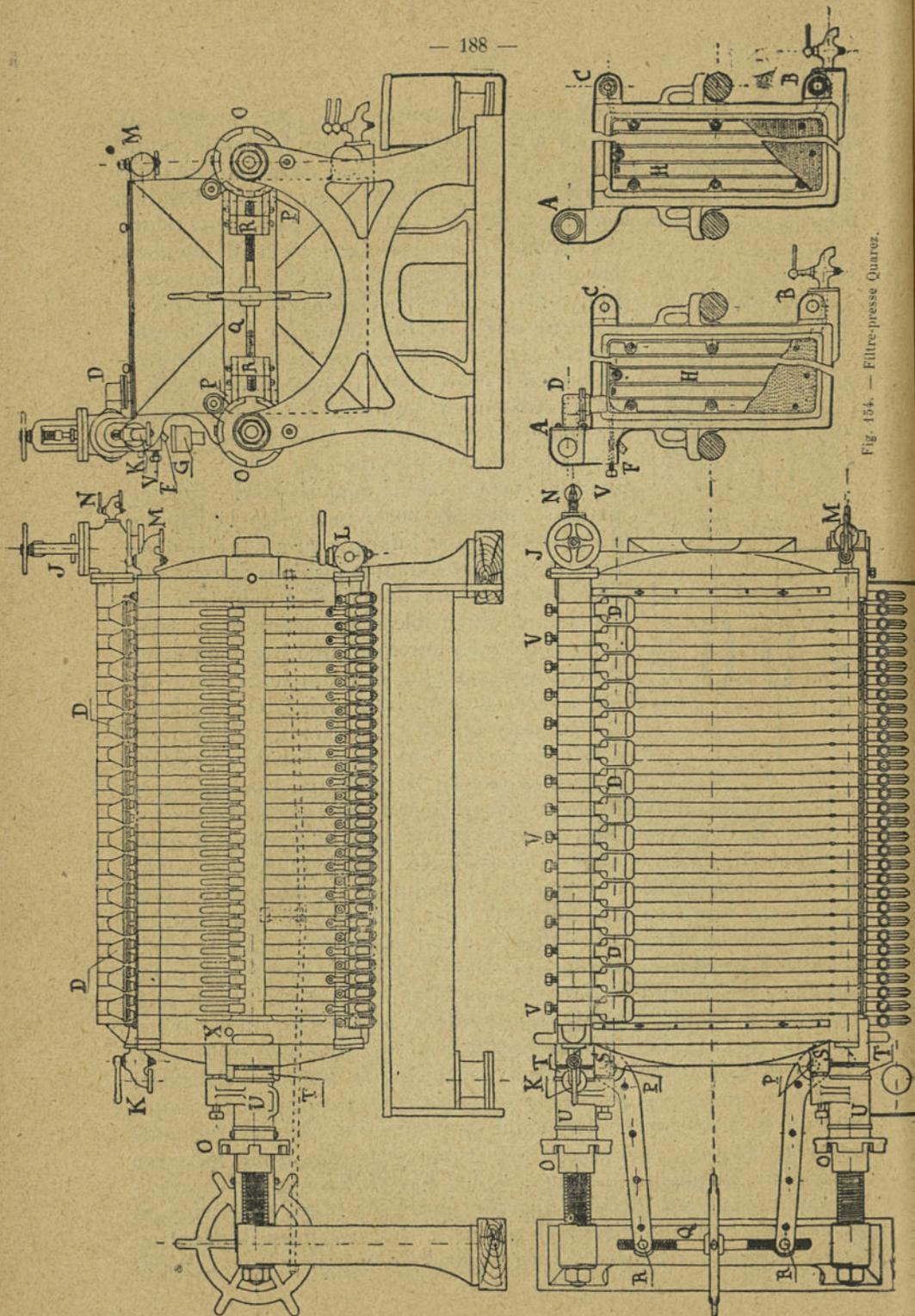


Fig. 154. — Filtre-pressé Quartz.

tient difficilement avec des pièces fondues. Les tôles perforées s'appuient sur ces barreaux et sont fixées par des boulons à des oreilles venues de fonte. Des trous et des évidements ménagés à travers les barreaux mettent tous les intervalles en communication et permettent la facile circulation des liquides derrière les tôles ; J soupape d'introduction du jus trouble dans le canal A ; K robinet pour vider le liquide restant dans le canal en fin d'opération ; L robinet à 2 eaux pour introduire l'eau de lavage dans le canal B, pour évacuer ce qui reste d'eau derrière les tôles des plateaux distributeurs, une fois le lavage fini ; M à l'extrémité du canal C, robinet d'évacuation d'air. On peut y mettre un purgeur automatique en le retournant bride en dessus ; M petit robinet de vapeur pour chasser le liquide restant en A avant de débâter ou pour échauffer avant la filtration. *Le lavage est ascendant.*

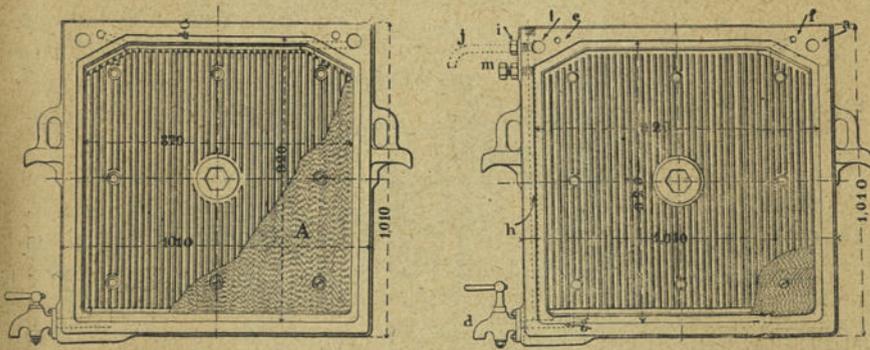


Fig. 153. — Filtre-pressé Quarez à lavage descendant.

Le mécanisme de fermeture est fixé au fond mobile ; il loge entre les tirants, ce qui économise de la place. Chaque levier en forme de croc oscille autour de l'axe P fixé au fond mobile. Les grands bras de levier S placés au-dessus et au-dessous du tirant portent des plateaux agissant par l'intermédiaire de la bague T et du manchon en fonte U sur l'écrou de serrage V. Le serrage final se traduit par un déplacement du fond mobile.

Pour ouvrir le filtre-pressé, on desserre les leviers, on tourne les gros écrous d'un tour, on lève les manchons U, on recule les bagues T contre les écrous, après quoi 2 hommes tirant sur la vis Q écartent facilement le fond mobile dont le mouvement se fait sur deux galets dont on voit l'axe en X.

D'après H. Pellet, on peut sans inconvénient prolonger les lavages jusqu'à ce que les écumes ne renferment plus que 0.20 % de sucre, si cela n'exige pas trop d'eau. Claassen non plus n'y voit pas d'inconvénient, à la condition que l'on dispose d'un nombre de filtres-pressés.

suffisant pour ce lavage. Il faut éviter d'employer pour le lavage de l'eau froide fortement calcaire, car cette eau rencontre dans les canaux du filtre le jus de 1^{re} carbonatation contenant encore de la chaux; il se forme du carbonate de calcium qui incruste les canaux, bouche les trous des tôles perforées et durcit les toiles. Il peut d'ailleurs se former des incrustations par l'emploi d'eaux ammoniacales, quand celles-ci, au lieu d'ammoniac, renferment du carbonate d'ammonium, lequel prend naissance quand on dépasse la limite de la carbonatation.

Emploi des petits-jus des Filres-presses. — Lavage méthodique des écumes. La première partie du jus rendu par les écumes pendant le lavage diffère peu du jus pur, car il se produit un véritable déplacement du jus dans le tourteau d'écume sous l'action de l'eau en pression. Ensuite le jus se dilue rapidement pour ne contenir à la fin du

lavage que 0,4 à 0,5 % de sucre. On admet souvent qu'il n'est pas économique de pousser plus loin l'épuisement.

Ordinairement on envoie le commencement du lavage dans la gouttière à jus ordinaire et on réserve la fin pour la préparation du lait de chaux.

Quelques sucreries font un lavage méthodique qui est préférable et se pratique en

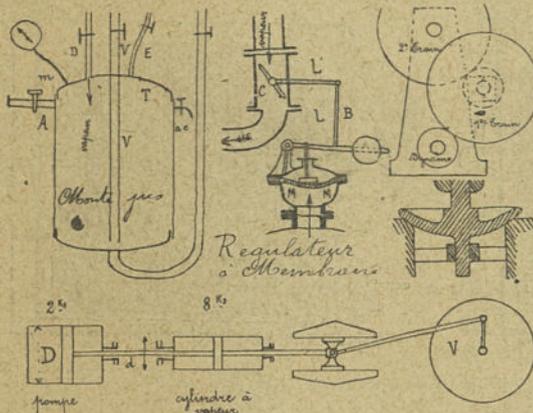


Fig. 155, 156, 157. — Monte-jus, Motopompe et Pompe à commande électrique.

envoyant le premier tiers du petit jus dans le jus ordinaire, le deuxième tiers à la préparation du lait de chaux et le reste dans un bac de réserve, où il est repris pour commencer le lavage du filtre-pressé suivant. La partie la plus faible du petit-jus devient donc ainsi du jus fort puisqu'elle passe sur une nouvelle couche d'écumes qui l'enrichit. On peut ainsi pousser plus loin l'épuisement sans être encombré par les petits jus. Le lavage méthodique est surtout important quand on fait le chaulage à la chaux sèche.

Pour le lavage le mieux est d'employer un monte-jus ou une petite pompe centrifuge à la grande turbine (série bis des constructeurs) car il convient que l'eau pénètre doucement, sans secousses, à travers les tourteaux. Les pompes à piston ne remplissent pas très bien cette condition.

La durée du lavage est de 15 à 20 minutes.

*Alimentation des filtres-presses
Monte-jus (Saft heber, Liquor' passer)*

Pour l'alimentation des filtres-presses, on s'est servi pendant longtemps, et on se sert encore dans les usines coloniales, du monte-jus. C'est un cylindre en métal posé verticalement et fermé en haut et en bas par un fond légèrement bombé. Le fond supérieur de ce réservoir est muni d'un trou d'homme T (fig. 155) et de plusieurs tubulures : 1° pour l'emplissage A, 2° pour la vidange V, 3° pour la sortie de l'air ou de l'excès de liquide a e, 4° pour le tuyau du manomètre m, 5° pour l'arrivée de la vapeur D, 6° pour l'échappement de la vapeur après vidange du liquide E. La tubulure de vidange porte un tube vertical qui se prolonge jusqu'au fond du réservoir et qui est le tube de vidange. Si on craint de caraméliser le liquide sucré, on peut placer ce tube de vidange sur une tubulure du fond ; il est alors complètement en dehors du monte-jus.

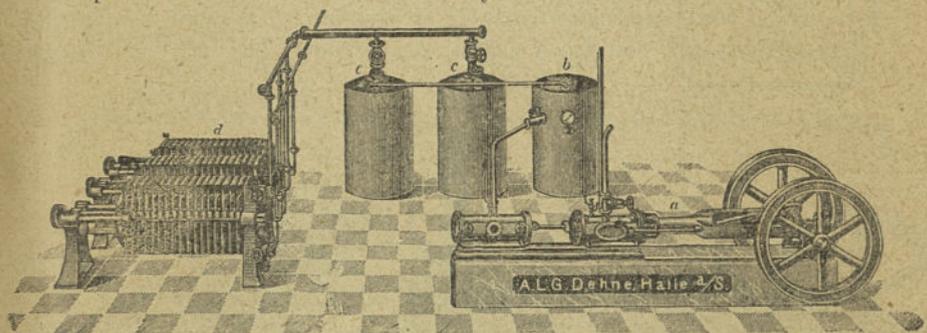


Fig. 158. — Filtres-presses alimentés par un monte-jus : a, compresseur d'air ; b, réservoir d'air comprimé ; cc, deux monte-jus ; d, filtres-presses.

Les boues ou écumes entrant par la tubulure A emplissent le cylindre en chassant devant elles l'air qui s'écoule par le robinet a e ; quand le réservoir est plein, les boues s'échappent par ce robinet qu'on ferme aussitôt en même temps que le robinet d'emplissage A. En faisant ensuite arriver la vapeur par la tubulure D, la pression refoule le liquide qui remonte par le tube V et se rend aux filtres-presses. Aussitôt que tout le liquide est évacué, ce dont l'ouvrier s'aperçoit par le bruit particulier que produit l'évacuation des dernières portions de boues, on ferme l'arrivée de vapeur et on lâche la pression par le robinet d'échappement E.

Le monte-jus est un instrument très commode pour l'alimentation des filtres-presses, mais il présente l'inconvénient de consommer beaucoup de vapeur. On lui reproche en outre de diluer le liquide à filtrer par la condensation qui se produit, de caraméliser du sucre, d'abîmer beaucoup les toiles, d'exiger beaucoup de main-d'œuvre, et d'être malpropre. Un autre inconvénient est que la pression du

générateur peut être à un certain moment trop faible pour le fonctionnement du monte-jus. On évite ces inconvénients en remplaçant la vapeur par l'air comprimé (fig. 158), qui permet d'avoir la pression que l'on désire, mais comme on construit maintenant des pompes très commodes pour ce travail, c'est généralement à ces pompes qu'on a recours.

Pompe à écumes ou à jus trouble (Schlammpumpe, Scum pump).

— Les pompes à écumes sont en réalité des pompes à jus trouble depuis qu'on a supprimé les bacs de décantation après carbonatation. On peut classer ces pompes comme suit :

Pompes à action	} à Volant	} discontinues	1
directe ou à vapeur			continues
(Moto-pompes)	} sans volant		3
Pompes à action		à Piston	4
indirecte	Centrifuges	5	

Pompe à écumes à action directe et à volant, à marche continue.

— Supposons un cylindre à vapeur de diamètre D (fig. 156) muni

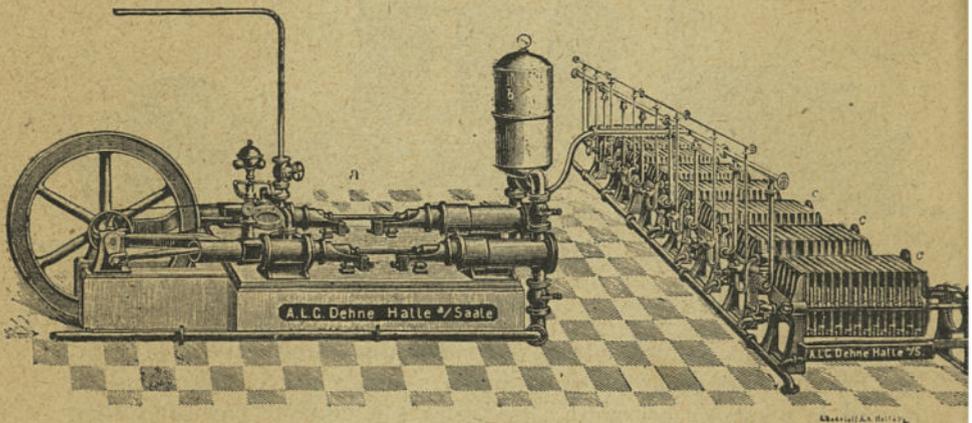


Fig. 159. — Filtres-presses alimentés par une motopompe ; a, pompes à piston jumelées ; b, bouteille d'air ; ccc, filtres-presses.

d'un piston dont la tige sort de chaque côté et actionne d'un côté le piston d'un corps de pompe de diamètre D et de l'autre un volant V. Supposons que la pression de la vapeur dans le cylindre à vapeur soit de 8 kilos et que l'on veuille limiter la pression à 4 kilos dans le filtre-presses. Il est facile de voir qu'en prenant pour D une valeur telle que $8 \times \frac{\pi d^2}{4} = 4 \times \frac{\pi D^2}{4}$ d'où $D = d \sqrt{2}$ la pompe s'arrêtera dès que la pression sera de 4 k. dans le filtre-presses. Pour avoir une alimentation régulière, on fait des pompes jumelles ; il y a donc deux cylindres à vapeur et 2 corps de pompe (a fig. 159) les 2 pistons à vapeur agissent sur

un seul volant par l'intermédiaire de 2 manivelles calées à 90° de telle façon que quand l'une est au point mort, l'autre est au point d'effort maximum. Les deux pistons de la pompe refoulent dans un même ré-

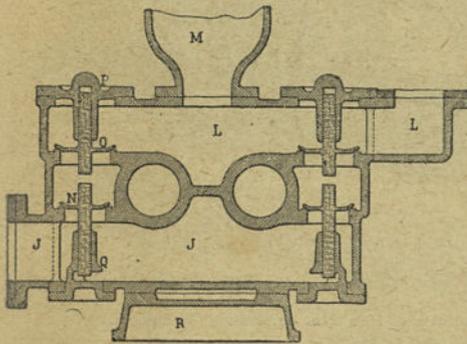
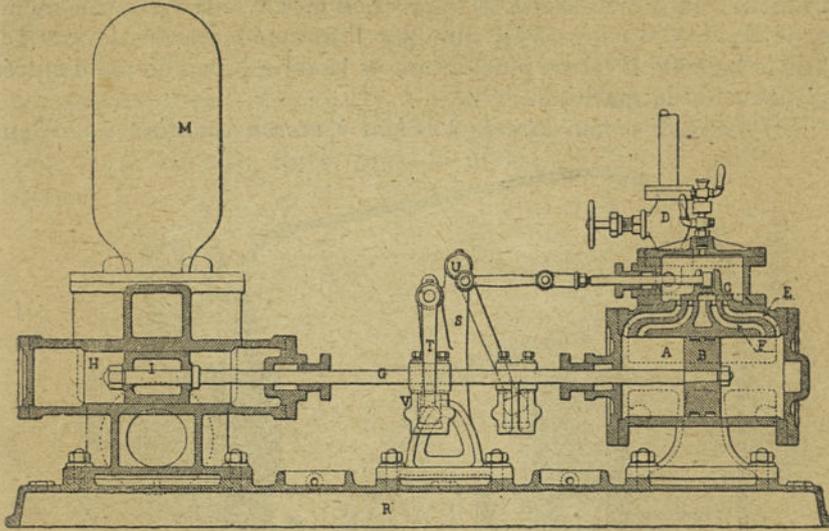


Fig. 160. — Moto-pompe sans volant (F. Moret).

- | | | |
|---------------------------------|---|--|
| A. Cylindre à vapeur. | I. Piston de pompe. | Q. Guide du clapet d'aspiration. |
| B. Piston du cylindre à vapeur. | J. Conduit d'aspiration. | R. Plaque de fondation. |
| C. Tiroir. | L. Conduit de refoulement. | S. Support des leviers de manoeuvre des tiroirs. |
| D. Robinet de prise de vapeur. | M. Récipient de refoulement. | T. Levier de manoeuvre des tiroirs. |
| E. Orifice d'admission. | N. Clapet d'aspiration. | U. Arbre à manivelle actionnant les tiges des tiroirs. |
| F. Orifice d'échappement. | O. Clapet de refoulement. | V. Conducteurs des leviers. |
| G. Tige des pistons. | P. Couverture de regard guidant le clapet de refoulement. | |
| H. Corps de pompe. | | |

servoir d'air b et de là dans les presses. Quand les presses sont vides et que la pression de la vapeur agit, la pompe se met en marche et s'arrête d'elle-même quand les presses sont pleines et que la contre-pression atteint 3 k. On installe sur le réservoir d'air un tuyau qui rejoint le régulateur pour fermer l'admission de la vapeur. Les pompes à piston pour écumes ou jus troubles doivent être à pistons plongeurs;

les clapets sont des boulets garnis de caoutchouc ou de bronze ou ont la forme spéciale de la fig. 157.

Pour la pompe à action directe, on emploie divers régulateurs, notamment celui à membrane. Si la pression monte, elle agit sur la membrane flexible M (fig. 157), qui, par l'intermédiaire des leviers LL et de la bielle B ferme plus ou moins la valve à papillon C d'entrée de vapeur de la machine.

2. *Pompes à action directe à volant à marche continue.* — Dans

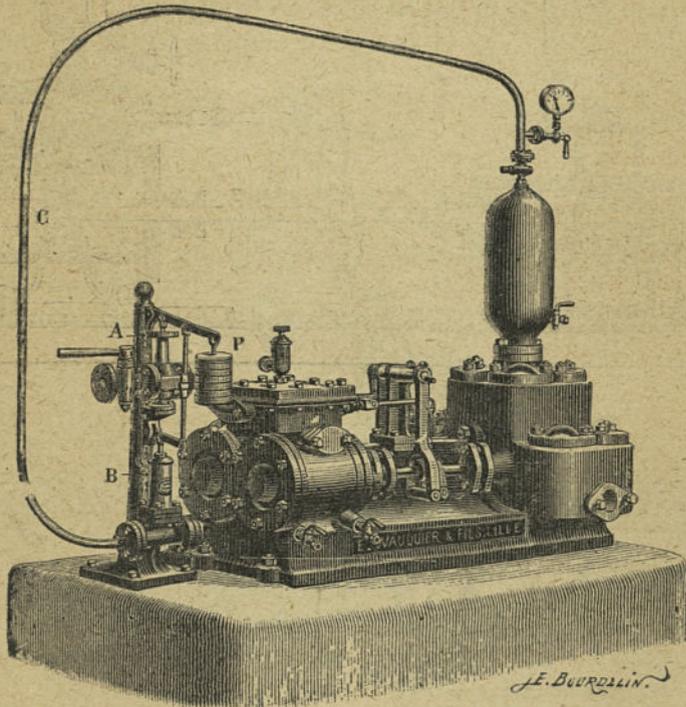


Fig. 161. — Moto-pompe sans volant avec régulateur de pression (Wauquier).

celles-ci le tuyau de refoulement porte une soupape qui se lève quand la pression devient trop forte et livre passage au jus qui retourne alors à l'aspiration. La pompe continue de tourner, mais elle refoule sur elle-même. Au lieu de renvoyer l'excédent à l'aspiration, il est préférable de le renvoyer dans les bacs à carbonater.

3. *Pompes à action directe sans volant.* — On emploie parfois les pompes sans volant genre Worthington ou Burton dont on règle l'allure au moyen d'un détenteur sur lequel agit la pression dans le récipient d'air de la pompe. Ces pompes paraissent inférieures aux pompes à volant. Le calage à 90° des manivelles régularise bien les efforts de la machine, mais le volant est le seul organe capable de régulariser et

d'adoucir l'allure de la pompe. Avec la pompe sans volant des coinçages se produisent parfois dans les soupapes par suite de la présence de petits cailloux ou d'autres corps solides et alors la pompe ne part pas ou même démarre à l'envers (fig. 160 et 161).

La figure 161 représente l'ensemble d'une pompe de ce genre. Si la pression augmente dans la bouteille d'air cette pression transmise par le tuyau C à la cloche B soulève le piston qui s'y trouve et en même temps le piston-valve du détendeur A équilibré par le contre-poids P ; cette valve ferme plus ou moins l'arrivée de vapeur à la pompe.

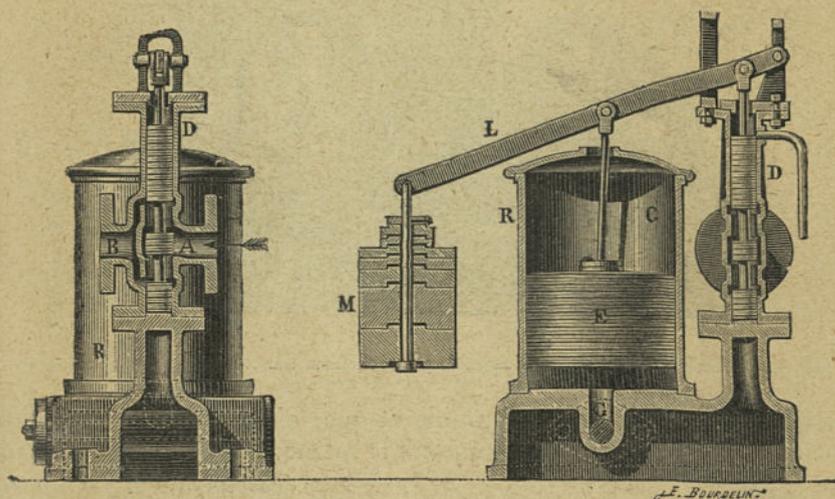


Fig. 162. — Régulateur de pression à piston Wauquier : A, arrivée de vapeur ; B, sortie ; C, espace vide ; D, piston-valve ; E, piston agissant sur le levier L ; G, tuyau en communication avec l'enceinte dans laquelle il s'agit de régler la pression ; L, levier agissant sur le piston-valve D ; M, contre-poids ; R, cloche

4. *Pompes à action indirecte à piston.* — Ces pompes sont généralement commandées par courroie ; elles comportent un engrenage démultiplicateur et une grande cloche d'air. Ces pompes sont à marche continue ; elles ne fonctionnent donc pas automatiquement ; on intercale dans la conduite de refoulement une soupape de retour à l'aspiration ; elles ne nécessitent aucune surveillance.

5. *Pompes à action indirecte centrifuges.* — Les pompes centrifuges ont l'avantage de donner un débit qui est en raison inverse de la charge et de cesser de débiter quand la pression maxima est atteinte. Le tourteau se forme pour ainsi dire d'une seule pièce et non par couches successives. Comme leur rendement dynamique est faible, elles ne paraissent indiquées que dans le cas d'une commande électrique.

Les pompes à piston à commande électrique exigent toujours au moins un train, le plus souvent deux trains d'engrenages démultiplicateurs (fig. 163) ; avec la pompe centrifuge la suppression de ces en-

grenages compense la faiblesse de rendement dynamique et l'on sacrifie du reste souvent celui-ci à la commodité. Comme ces pompes sont

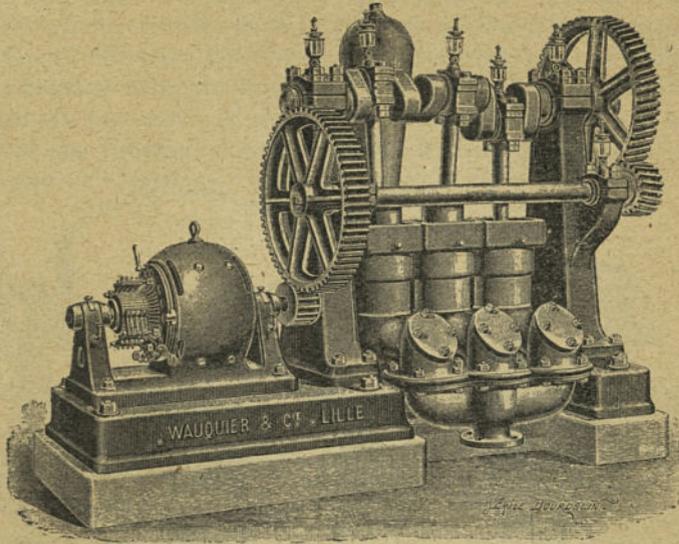


Fig. 163. — Pompe à piston à 3 corps commandée par un électro-moteur et engrenages démultipliateurs.

installées dans un endroit humide et que, d'autre part, la pression maxima au refoulement est toujours la même, c'est de préférence un alterno-moteur triphasé asynchrone à induit en court-circuit que l'on cale sur le prolongement de l'axe de la pompe.

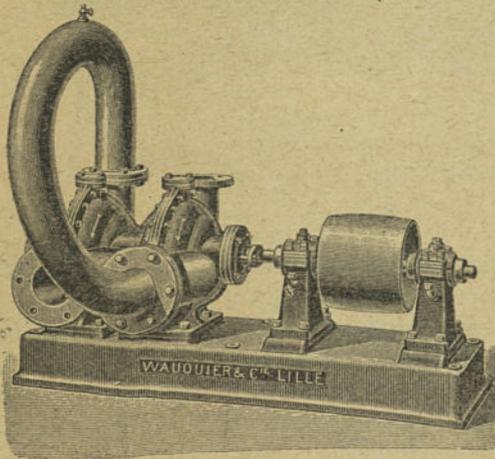


Fig. 164. — Pompes centrifuges conjuguées.

Pour refouler à plus de 15 mètres d'eau, on préfère fréquemment les pompes centrifuges à vitesse angulaire réduite. Celles-ci ont plusieurs inconvénients : 1° Leur rendement dynamique est faible, comme nous l'avons dit ; 2° Elles ne peuvent s'accoupler directement à un électro-

moteur, leur vitesse étant trop faible. Pour ces raisons, on emploie parfois un ensemble de deux pompes conjuguées (fig. 164),

tournant moins vite, chacune faisant la moitié de l'élévation. Si R est le rendement dynamique de chaque pompe, on a pour l'ensemble : $R \times \frac{h}{2} + R \times \frac{h}{2} = Rh$, c'est-à-dire que le rendement est égal à R . C'est le seul avantage que présente cette conjugaison. En effet, 1° par suite de la vitesse réduite, ce système se prête moins bien à une commande directe par électromoteur ; 2° il donne plus d'usure et par suite exige plus de réparations. L'avantage d'un rendement dynamique plus élevé a peu d'importance quand il s'agit d'une

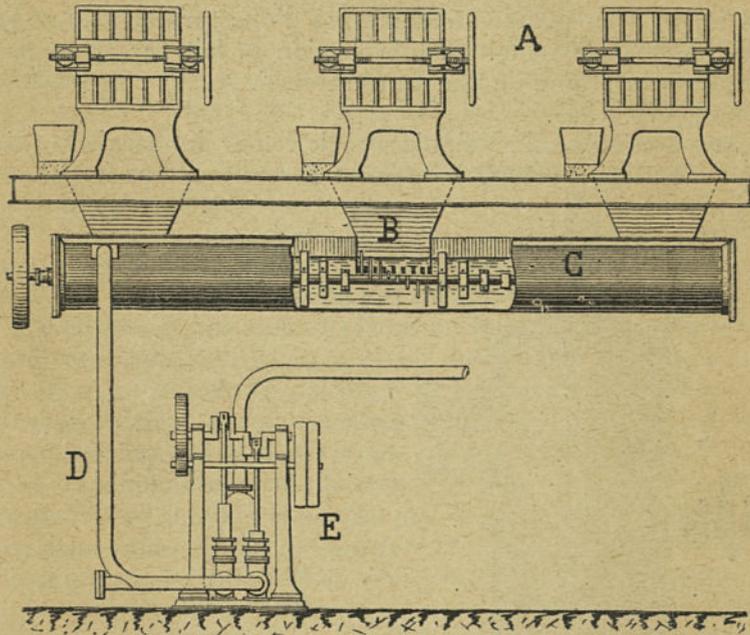


Fig. 165. — Refoulement des écumes aux bassins de décantation (F. Moret).

installation neuve, étant donné que les vapeurs d'échappement des machines sont utilisées aux chauffages, ce qui augmente considérablement le rendement thermique des moteurs ; mais il présente une grande importance quand on se trouve limité par la puissance motrice dont on dispose.

Pour toutes ces raisons, on emploie le plus souvent des pompes à vitesse angulaire réduite, commandées par une transmission actionnée par électromoteur ; le rendement dynamique est plus faible, mais on a moins d'usure.

On préfère installer des pompes centrifuges à 25 % de rendement dynamique, que des moto-pompes, par lesquelles il passe 200 k. de vapeur par cheval-heure. En effet, si un moteur économique con-

somme 10-15 k. de vapeur par cheval-heure, cela ne représente encore pour la pompe centrifuge que 40-60 k. de vapeur par cheval-heure, soit le quart de 200.

Le plus gros inconvénient de ces pompes est le calfat qui perd très souvent.

Le pompage des écumes et des jus troubles est un service très dur qui exige des pompes à triples paliers. Dans ces pompes, l'arbre traverse complètement le corps de pompe par une seconde boîte à calfat et son extrémité est maintenue par un palier-graisseur. L'arbre est ainsi guidé de chaque côté du corps de pompe, d'où usure moins rapide. Ces pompes sont munies d'une turbine à draguer et de trois regards de visite. La lubrification se fait par arrosage des boîtes par l'eau propre ou par un graisseur à graisse consistante sur les boîtes. (Fig. 132).

On lave avec les eaux ammoniacales de retour des dernières caisses prises par une pompe à action directe avec régulateur Burton un petit monte-jus ou une pompe centrifuge. Il faut 150 kil. d'eau pour 100 kil. d'écumes.

Enlèvement des écumes

Les écumes retirées des presses après lavage tombent dans des wagonnets que l'on fait avancer sur une estacade (schlambbahn) en dehors du bâtiment au bout de laquelle on les culbute pour mettre les écumes en tas. Récemment les ateliers de Brunswick ont remplacé les wagonnets par un pétrin et une pompe à masse épaisse (masse cuite) travaillant comme une boudineuse (système Bosse-Hecklingen).

Ces écumes qui représentent 12 % du poids de la betterave travaillée servent comme amendement mais dans certaines contrées les fermiers n'en veulent pas. Dans ce cas, on les fait tomber des presses A (fig. 165) dans un délayeur d'écumes en forme de pétrin C d'un mètre

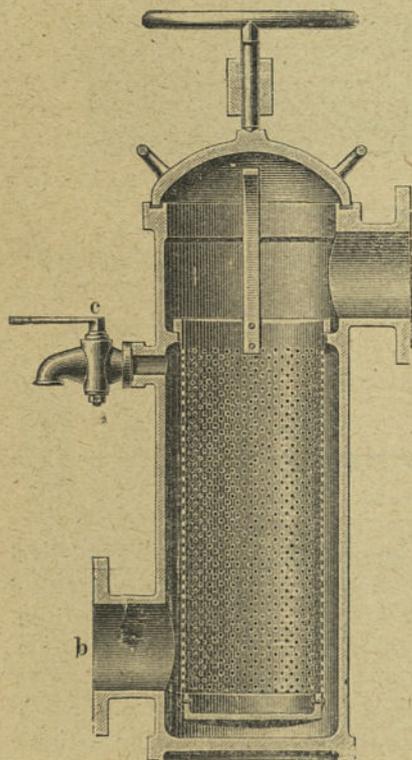


Fig. 166. — Epiereur (Sangerhausen).

de largeur avec grilles et crochets diviseurs en face de l'arrivée d'écumes. On fait un mélange de 113 à 115 k. par hectol., qu'une pompe refoule dans des bassins de décantation ou même aux bassins ordinaires de décantation.

Les écumes de 2° carbonatation vont dans un délayeur d'écumes puis retournent dans le mélangeur de jus de 1^{re} carbonatation.

Capacité productive des filtres-presses. — En première carbonatation 100 k. de betteraves donnent 126 l. de jus trouble et on compte sur un passage de 30 à 35 hectol. de jus par mq. de surface filtrante et par 24 heures.

En 2° carbonatation, 100 kgs de betteraves donnent 129 l. de jus et on compte sur un passage de 100 hect. de jus par mq. et par 24

On prend des petits filtres-presses sans cadres de 1 m. de côté.

Épierreur à jus troubles. — Les jus troubles carbonatés charrient toujours des petites pierres qui viendraient abîmer les pompes. On retient ces pierres par un épierreur composé d'un cylindre vertical contenant un panier en tôle perforée. Le jus entre par a (fig. 165), traverse le panier et chasse l'air qui sort par le robinet c, robinet que l'on ferme aussitôt que le liquide arrive ; celui-ci sort ensuite d'une façon continue par la tubulure b. Le robinet c peut ensuite servir pour la prise des échantillons.

Passage difficile aux filtres-presses. — La pression dans les filtres-presses ne doit pas dépasser 2 à 3 k. ; les tourteaux se lavent alors facilement. Quand la filtration est difficile, la pression peut monter à 4-8 kilos. Il est bon de placer un manomètre sur la bouteille d'air et sur la conduite de refoulement de la pompe.

Les principales causes de passage difficile aux filtres-presses sont : 1° Jus de diffusion ayant une densité dépassant 106, surtout quand ce jus provient de betteraves fanées ou desséchées. Dans ce cas, on réussit généralement en augmentant le volume de jus soutiré, ce qui équivaut à une dilution de ce jus. Comme cela augmente la dépense pour l'évaporation, il est recommandable de faire cette dilution en renvoyant à la carbonatation les eaux de lavage des écumes que l'on ne peut pas utiliser à l'extinction de la chaux : on facilite ainsi également la carbonatation. (H. Claassen) ; 2° betteraves gelées, avariées, ou provenant d'une culture avec excès d'engrais chimiques ; 3° chauffage exagéré à la diffusion (certaines betteraves doivent être chauffées à 68° C., d'autres à 84° C.) ; on dissout alors des matières qui ne peuvent pas être précipitées par la chaux et qui donnent de mauvaises filtrations ; 4° le lait de chaux est mal préparé ou la dose de chaux employée est insuffisante ; 5° il y a du sucrate tricalcique insoluble dans les écumes ; 6° l'alcaline du jus est trop élevée, cela se produit parfois en employant la phtaline comme indicateur coloré, celle-ci est décolorée par la moindre influence et on trouve un titre beaucoup trop faible ; 7° il se développe dans le jus une végétation de *Leuconostoc mesenteroides*, produisant de la *dextrane*. Dans ce cas, il faut liquider la fabrication, dès qu'il vient à se produire.

L'oxalate de calcium n'est pas à craindre, car il est soluble dans les conditions du travail actuel.

Dans tous les cas de filtration difficile, en attendant que l'on ait supprimé la cause de la difficulté, le mieux est d'accélérer le plus possible le travail, en remplaçant fréquemment les toiles.

Filtration des jus clairs

Filtration mécanique des jus. — Avec l'ancien système de déteccation, on filtrait le jus sur une forte proportion de noir en grains qui complétait dans la mesure du possible l'épuration très imparfaite produite par l'action de la chaux. L'invention du procédé Rousseau réduisit de 30 p. 100 la quantité de noir employée et celui de la double carbonatation la réduisit encore considérablement.

Avec ce dernier système, on aurait pu immédiatement supprimer le noir, si les carbonatations avaient été conduites comme elles le sont aujourd'hui, mais comme le travail ne faisait pas l'objet d'un contrôle chimique sérieux, on continua d'employer le noir, qui était le réparateur de toutes les fautes.

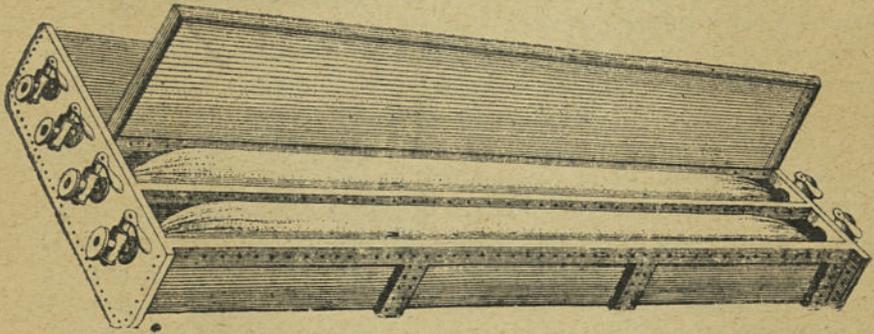


Fig. 167. — Bac-filtre clos de Puvrez (essayé en 1884).

Cependant le noir coûtait très cher et souvent il occasionnait des accidents. Par suite de négligences commises dans le maintien de la propreté et d'une température suffisamment élevée, les jus étaient envahis par les micro-organismes qui transformaient le sucre en acides butyrique, formique, acétique, etc... Cette perte venait s'ajouter à celle qui résultait de la présence du sucre dans le noir malgré tous les lavages. En outre il fallait tout un matériel pour la révivification du noir : four à noir, laveur à noir, etc... On a donc cherché à remplacer la filtration sur le noir par une filtration sur tissus qu'on a appelée *filtration mécanique* parce qu'elle ne produit aucun effet chimique comme le fait le noir.

Filtres à poche (Taschen filter ; Bag filter). — Les premiers filtres mécaniques étaient des filtres à sacs ou à poches. Le filtre Puvrez (fig. 167) était un bac clos dans lequel était couché un sac en tissu. Si la toile vient à se crever en un endroit, il faut tout arrêter. Pour éviter cela, on a divisé le filtre en un certain nombre d'éléments ayant chacun

une surface filtrante d'un mq par exemple, qu'on réunit dans un même appareil. Pour qu'un filtre soit bon, il faut qu'on puisse s'en apercevoir quand un de ses éléments cesse de donner un liquide limpide et qu'on puisse facilement arrêter ou changer l'élément en défaut.

Filtre Loze. — Les premiers filtres remplissant ces deux conditions ressemblaient à un filtre-pressé constitué par une série de cadres en bois entre lesquels étaient tendues les toiles.

Dans les filtres Puvrez et le filtre Loze, la pression du liquide distend les toiles, les fibres s'écartent et souvent il se produit des filtrations troubles. Cet inconvénient est évité dans les filtres modernes.

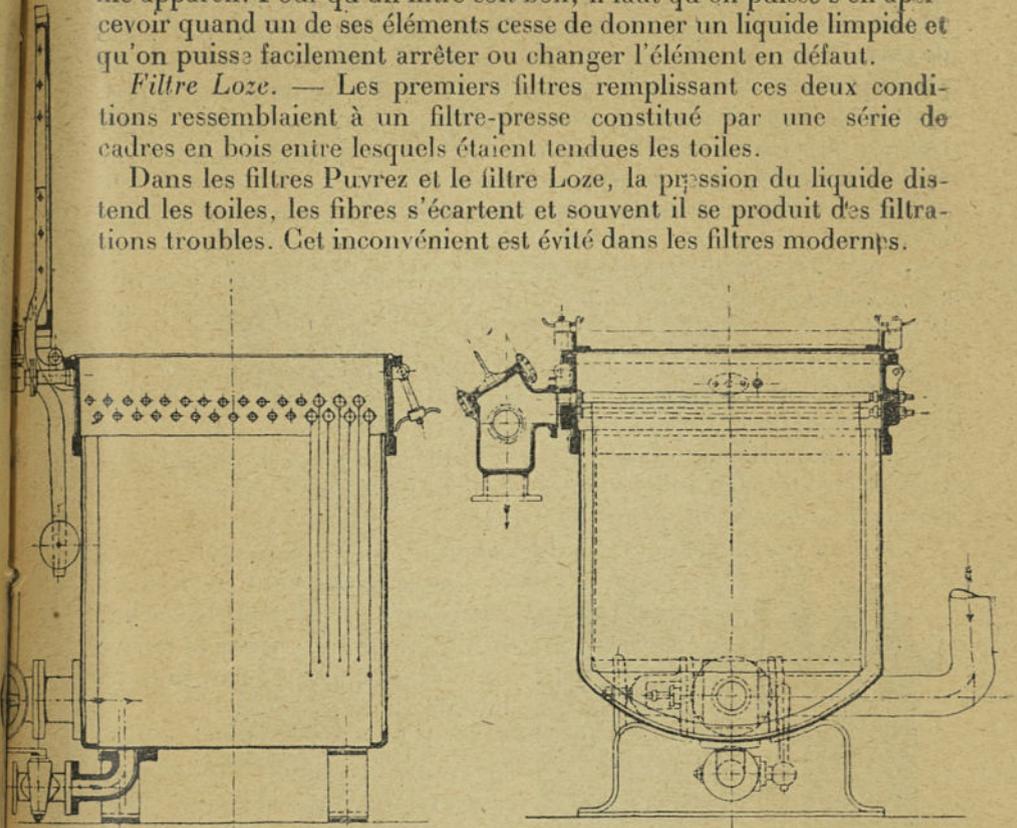


Fig. 168. — Filtre à poches de Procksch (Breitfeld, Daneck et Co).

Filtre Procksch (construit par la maison Breitfeld et Daneck de Prague). — Chaque élément est constitué par une tôle ondulée ajustée sur un tube en fer analogue aux tubes à gaz, et est enfilé dans un sac en tissu de chanvre et jute ou de chanvre et lin. Ces éléments sont réunis dans une caisse en tôle avec fond en forme de toit et fermée par un couvercle avec contre-poids. Les tubes sont placés en quinconce sur deux rangées parallèles ; ils pénètrent dans les trous percés dans la tôle et s'appuient sur celle-ci par un épaulement avec caoutchouc assurant l'étanchéité ; à son extrémité fermée ce tube repose sur un support à vis qui produit le serrage. Le liquide emplit la caisse, pénètre dans les sacs et par de petits trous ménagés tout le long du tube, se réunit à l'intérieur de ce tube et s'écoule par l'extrémité ouverte dans une noyère ouverte ou dans une noyère fermée. (Fig. 168.)

Filtres à claies (Horden filter, Hurdle filter)

Filtre Kasalowsky. — La tôle ondulée du précédent est remplacée par un tissu métallique ondulé en fils spiriformes formant une sorte de cotte de mailles. Les tuyaux sont soudés et l'étanchéité est obtenue par le poids de l'élément. Le couvercle porte des vis de pression permettant de serrer le couvercle contre son joint. Le joint est plutôt inférieur au précédent, mais l'emploi de la claie est un perfectionnement sérieux qui a donné les meilleurs filtres.

Dans ses filtres actuels la maison Breitfeld-Danek remplace souvent la tôle ondulée par une tôle dédoublée à découpures parallèles ou un tissu métallique à fils spiriformes. Les bords supérieurs du tissu filtrant sont repliés l'un sur l'autre et fixés au moyen d'une réglette sur le tube.

Filtre Philippe. — Ce filtre se compose d'une caisse en tôle A, (fig. 168) dont le fond est incliné de chaque côté et qui est fermée à la partie supérieure par un couvercle C portant une rainure B sur tout son pourtour. Le couvercle est percé d'une dizaine de lumières longues et étroites et parallèles entre elles. Dans chacune de ces lumières vient se placer un élément filtrant.

C'est une poche plate DD dont le rebord F du côté ouvert, est épais et souple constituant un bourrelet qu'on appelle tête de poche. A l'intérieur de la poche se trouve un cadre E constitué par un treillis métallique.

La tête de poche sert à 2 usages : elle maintient suspendu au couvercle C, et cela d'une façon sûre, l'ensemble de la poche et du cadre, et sert en outre à former joint entre la poche, le couvercle et une pièce mobile creuse GG dite chapeau fermée à une de ses extrémités et portant à l'autre une tubulure dans laquelle est vissée un conduit qui débouche au-dessus d'une nochière K, fixée au couvercle mobile C.

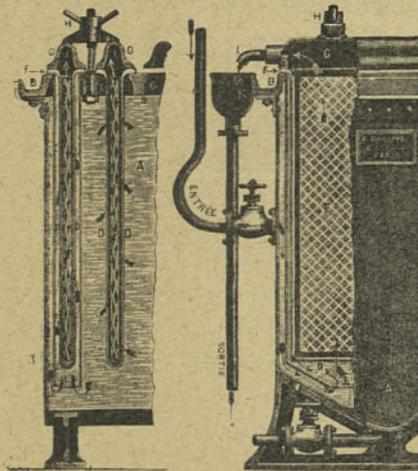


Fig. 169. — Filtre à poche et à claie de Philippe (Paris).

C'est sur les rebords des lumières que se fait le joint entre le couvercle et les chapeaux.

Filtre à poches et à claies sans joint de Bullot. — Le filtre Bullot, du nom de l'inventeur, fabricant de sucre à Chevrières (Oise), mérite une mention à cause de sa simplicité et de son efficacité. Chaque élément est formé d'un cadre en fer rond, dans l'intérieur duquel est tendu un fort tissu métallique en fils spiriformes.

mes (tissu repsé) analogue à celui du Kasalowsky, et d'un sac ou poche en tissu de coton. On place le cadre dans la poche, dont on attache l'ouverture par quelques agrafes à la barre supérieure du cadre. Dans la poche et à côté du tissu métallique, on fait descendre la branche d'un siphon en tube de fer de 25 m/m, de forme particulière. Les extrémités de ce siphon étant recourbées le rendent *indésamorceable*, l'air ne pouvant pénétrer dans le tube quand le liquide vient à manquer. Les éléments sont suspendus dans un bac découvert par la barre supérieure du cadre prolongée aux deux bouts, pour

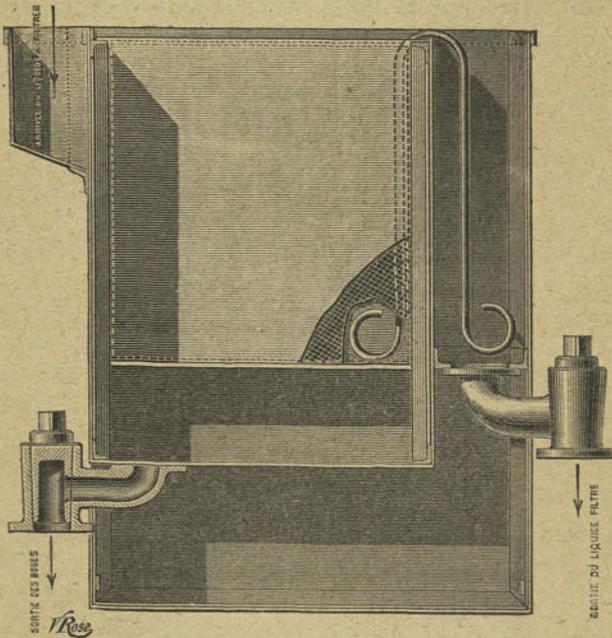


Fig. 170. — Filtre Bullot (construction Génin, Haun).

reposer sur des cornières. Les siphons ayant d'abord été remplis une fois pour toutes et placés dans les poches, on fait arriver le jus par un robinet (réglé par un flotteur) jusqu'à 10 cm. du haut des poches, et au fur et à mesure qu'il se filtre de dehors au dedans dans les poches, les siphons l'évacuent dans la gouttière (fig. 170)

La filtration faite avec une pression minime, est très bonne. On peut remplacer en marche un ou même tous les éléments ; il suffit de retirer le siphon et d'enlever le cadre garni de sa poche. La construction est des plus simples, car il n'y a aucun joint aux éléments, ni fermeture au bac.

Filtre ouvert à grande surface pour jus de 2^e carbonatation. — Dans toute filtration, il faut autant que possible éviter la pression qui distend les toiles. Pour la filtration des jus de 2^e carbonatation, on

remplace avantageusement les filtres-presses par les filtres ouverts à grande surface et à basse pression de Breitfeld Danek (fig. 171). Ces filtres sont identiques à ceux décrits plus haut pour les jus clairs ; ils n'en diffèrent qu'en ce que la partie inférieure est un prisme au sommet duquel se trouve une hélice pour l'évacuation du dépôt.

Capacité productive des filtres. — Souvent on ne filtre que les jus de 2^e carbonatation mais on devrait filtrer après chaque passage aux filtres-presses.

Pour les jus clairs de 1^{re} carbonatation (135 l. de jus par 100 k. de betteraves) on compte 70 hectolitres de jus par mq de surface filtrante

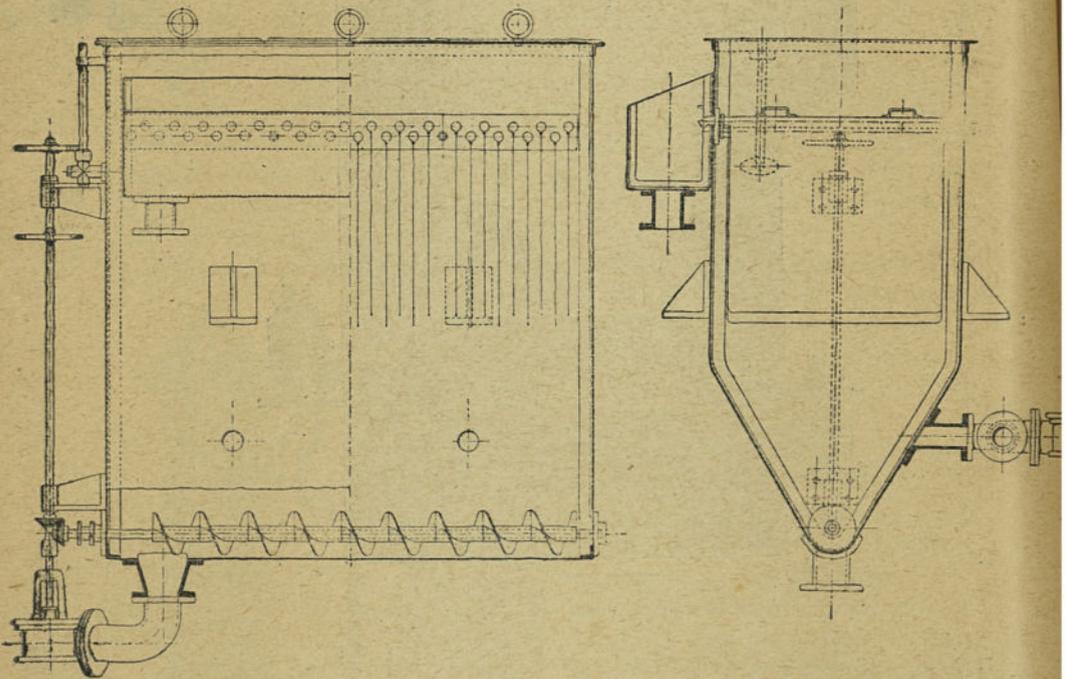


Fig. 171. — Filtre ouvert à grande surface (Breitfeld, Danek et Co).

et pour ceux de 2^e carbonatation (138 l. de jus par 100 k. de bett.) on compte 80 hectolitres par mq.

Résultats de l'épuration par double carbonatation. — Présence des sels de calcium

La purification des jus après le double traitement calco-carbonique est loin d'être parfaite. Malgré l'action coagulante de la chaux et de la chaleur sur les *matières albuminoïdes* et malgré l'entraînement de ces matières par le carbonate de calcium, 20 à 25 % seulement de ces *impuretés* sont éliminées. Cela tient à ce que la potasse et la soude mises

en liberté par la chaux tiennent en dissolution la majeure partie de l'albumine sous forme d'alcali-albumine, ou caséine, ou légumine (voir plus haut température du chaulage et de la carbonatation). Il faudrait neutraliser l'alcalinité, mais alors le jus pourrait être attaqué par des micro-organismes pendant le travail ultérieur.

L'élimination des acides organiques également est incomplète. Comme nous l'avons déjà dit, les jus ne doivent pas contenir de chaux, et ce n'est que lorsque la qualité des betteraves laisse à désirer, par exemple en fin de campagne (betteraves gelées) qu'on rencontre des doses de chaux combinée assez notables dans les jus épurés. Cette chaux se trouve combinée aux acides métapectique, lactique, acétique, etc., formant des sels solubles indécomposables par l'acide carbonique. Quand ce cas se présente, les bases potasse et soude contenues dans le jus sont également saturées par ces acides, en sorte que l'alcalinité de ces jus est très faible et qu'il y a danger pour leur conservation. Pour obvier à cet inconvénient on peut ajouter au jus lors de la 2^e carbonatation une dose de carbonate de sodium suffisante pour précipiter toute la chaux contenue dans le jus à l'état de sels indécomposables par CO_2 . Le carbonate de sodium décompose ces sels en donnant à leur place des sels de sodium moins nuisibles. Si l'on veut maintenir dans le liquide une certaine alcalinité caustique, il suffit d'ajouter une dose plus forte de $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ et d'arrêter l'opération aussitôt que toute la chaux est éliminée. Mais il est préférable d'ajouter le $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ à la diffusion où on le met sur les cossettes fraîches avant le meichage. Dans ces conditions, il commence à agir dès la 1^{re} carbonatation, il cède son acide carbonique à la chaux dissoute, absorbe celui qu'on injecte pour le céder de nouveau à de la chaux et ainsi de suite. L'inconvénient du $\text{CO}_3 \text{Na}_2$ est qu'il remplace les sels de calcium décomposés par des sels correspondants de sodium moins nuisibles il est vrai, mais encore nuisibles. En outre, on constate souvent une forte coloration des sirops et des masses cuites, qui donnent un sucre moins beau.

Rümpler préfère le sulfite de sodium qui précipite également la chaux, mais ne colore pas les sirops.

Les vases destinés à recevoir les sirops non filtrés venant des appareils à évaporer, sont munis de repères indiquant les volumes. On détermine par l'hydrotimètre la proportion de chaux que renferme le jus, on y ajoute la dose de sulfite ($\text{Na}_2 \text{SO}_3$) nécessaire, on fait bouillir et on filtre comme d'ordinaire. On reproche aux sulfites d'occasionner une dépense plus élevée que le carbonate de sodium, mais on peut préparer soi-même à bon compte, le sulfite en solution, en faisant agir le gaz acide sulfureux sur une solution de carbonate de sodium.

Triple carbonatation. — Avec deux carbonatations seulement, on constate, dans certaines usines, un encrassage rapide des tubes de

appareils d'évaporation, aussi doit-on fréquemment procéder à des nettoyages de ces appareils, d'où arrêts et pertes de temps très préjudiciables. On arrive à supprimer presque totalement cet inconvénient par l'emploi de la 3^e carbonatation, qui tend d'ailleurs à se généraliser depuis plusieurs années. On obtient ainsi des jus n'encrassant que faiblement les faisceaux tubulaires des appareils d'évaporation et les nettoyages de ces appareils sont ainsi considérablement raréfiés et même supprimés en cours de fabrication. Pour procéder ainsi, on laisse dans les jus après 2^e carbonatation, une alcalinité exprimée en chaux de 0 gr. 500^e par litre environ, on filtre et on envoie dans les chaudières de 3^e carbonatation où on sature complètement l'alcalinité chaux. On fait bouillir et on filtre avant l'entrée dans les appareils d'évaporation.

On arrive à peu près aux mêmes résultats en se contentant de porter à l'ébullition dans des chaudières spéciales, les jus filtrés après 2^e carbonatation (bouillissage) et en leur faisant subir ensuite une nouvelle filtration avant leur entrée dans les appareils d'évaporation.

Avec 3 carbonatations, il est plus facile de régler les alcalinités et d'éviter l'action pernicieuse d'une carbonatation poussée trop loin sur le précipité formé, mais ces 3 carbonatations compliquent le travail et exigent plus de surveillance ; en sorte que l'on se contente souvent de 2 carbonatations.

On doit toujours faire 3 carbonatations quand on ajoute au jus de 2^e carbonatation de la chaux renfermant de la magnésie.

Epuraton par les sels d'aluminium. — Nous avons vu que l'usage de l'alun en sucrerie de canne remonte avant l'époque de la chimie et qu'on s'en servait au XV^e siècle, en même temps que des cendres de bois. Il y a une vingtaine d'années on fit un grand nombre d'essais d'épuration par l'alumine, mais on ajoutait généralement l'alumine trop tard en sorte qu'il se formait des dépôts d'alumine sur les surfaces de chauffe ; on était obligé d'avoir des brosses en métal pour enlever ces dépôts, d'où perte de temps.

Des essais ont été repris dernièrement. Dans le procédé Lehmkuhl, essayé en Allemagne, on ajoute au jus de diffusion 1 kg. de sulfate d'aluminium par hectol., et on chauffe durant quelques minutes à 90° ; puis, sans séparer le précipité qui se forme, on ajoute la chaux et on fait les carbonatations. Mais le sulfate d'aluminium et l'alun produisent sur le jus une inversion qui augmente rapidement avec la température. Dans le procédé Dupont, on emploie l'aluminate de baryum déjà utilisé pour l'épuration des eaux destinées à l'alimentation des générateurs (procédé Asselin Bellanger). On additionne le jus de diffusion de 30 à 50 g. d'aluminate en solution, par hectolitre de jus, et on chauffe à 85° C. au moins. Il se forme un précipité abondant et le jus devient très fluide. On ajoute ensuite de la chaux comme à l'ordinaire. La 2^e carbonatation peut se faire sans addition

nouvelle de chaux par l'emploi de 30 à 40 g. d'aluminate par litre et barbottage d'acide carbonique.

L'aluminate de baryum doit être dissous au préalable. La fabrication par le chauffage au creuset ou au four à réverbère d'un mélange de barytine de charbon et de bauxite ne donne que des frites difficiles à dissoudre et n'abandonnant à l'eau qu'un quart de leur poids d'aluminate pur. On essaie actuellement de nouveaux procédés.

L'aluminate de baryum permet d'éliminer les sels de calcium ; il agit par ses deux constituants ; l'alumine forme avec la chaux un aluminate insoluble et la baryte forme des sels insolubles avec les acides et les matières organiques des sels de chaux : sulfite $\text{Ca SO}_3 + \text{Ba Al}_2 \text{O}_4 = \text{Ba SO}_3 + \text{Ca Al}_2 \text{O}_4$; sulfate $\text{Ca SO}_4 + \text{Ba Al}_2 \text{O}_4 = \text{Ba SO}_4 + \text{Ca Al}_2 \text{O}_4$. Le précipité d'aluminate de calcium aide à l'entraînement des précipités barytiques plus ténus et facilite la filtration.

Aucun de ces procédés n'est entré dans la pratique, parce que les résultats industriels n'ont pas répondu aux promesses du laboratoire.

CHAPITRE II

Evaporation (Verdampfung ; Evaporation)

Les jus épurés par le traitement calco-carbonique ont abandonné la plus grande partie de leurs impuretés ; pour en retirer par cristallisation les sucres qu'ils renferment, il faut suivre la voie constamment employée en chimie, c'est-à-dire concentrer ce liquide sucré par évaporation.

Le premier produit de l'évaporation porte le nom de sirop. Les sirops doivent être concentrés jusqu'à 30-32° Baumé (55 à 60° Brix = 1260 à 1290). Il n'est pas bon de concentrer jusqu'à 35-38° Baumé (65 à 70° Brix = 1320 à 1350 de densité), car une telle concentration rend le travail de la cuite difficile, et en outre, les sirops peuvent par refroidissement, laisser déposer des cristaux qui peuvent occasionner des obstructions dans les conduites.

Il est facile de voir que la quantité d'eau qu'il faut évaporer est considérable. Soient p et P les poids par hectol. (en kilos) avant et après évaporation, v le nombre de litres ou de kilogs à évaporer.

On a :

$$p - v = \left(100 - v \right) \frac{P}{100} \quad \text{d'où } v = \frac{100 (P - p)}{P - 100}$$

poids du résidu.

Si nous supposons un jus à 105 de densité qu'il s'agit d'évaporer jusqu'à 130, il faudra enlever :

$$v = \frac{100 (130 - 105)}{(130 - 100)} = \frac{2.500}{30} = 83,33 \text{ p. } 100.$$

d'eau du volume de liquide, soit 833 cc. par litre.

Anciennement cette évaporation se faisait simplement en faisant bouillir le jus dans des bassines plates en cuivre ouvertes à leur partie supérieure et disposées au-dessus d'un foyer à bois ou à houille. Il va sans dire que ce système était défectueux.

1° Les gaz de la combustion n'abandonnaient qu'une faible partie de leur calorique et s'échappaient dans la cheminée à une température très élevée ;

2° La solution sucrée était en contact avec une paroi à température très élevée d'où résultait une destruction de sucre ;

3° Toute la chaleur latente contenue dans la vapeur dégagée était perdue.

Chaque kilo de houille ne pouvait évaporer que 6 k. d'eau au plus. Donc, pour concentrer de façon à réduire de 83 % le volume d'un hectolitre de jus, il fallait brûler $83,3 : 6 = 13 \text{ k. } 90$ de houille.

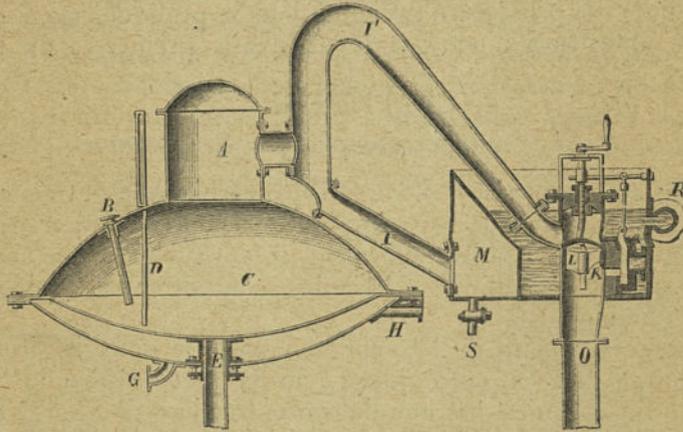


Fig. 172. — Appareil à cuire de Howard.

Comme l'hectolitre de jus renfermait 10 % de sucre, cela représentait 139 k. de houille, rien que pour l'évaporation.

Pour éviter les deux premiers inconvénients, on remplaça le chauffage à feu nu par le chauffage à la vapeur, inventé par Watt en 1780. Les générateurs de vapeur peuvent en effet être disposés d'une façon plus rationnelle que les foyers précédents, et peuvent utiliser jusqu'à 70 à 75 % de la chaleur théorique développée par la combustion. Le chauffage à la vapeur supprime aussi tous les foyers accessoires et permet de régler instantanément la mise en marche ou les arrêts de chaque appareil.

A partir de 1820, un constructeur de Paris, Pecqueur, fit un grand nombre de chaudières à évaporer.

Depuis 1811, il existait en Angleterre des chaudières à cuire dans le vide, construites par Howard, et qui n'avaient pas encore pénétré

en France, parce qu'on n'avait pas encore pu se résoudre à introduire les machines à vapeur dans les usines.

Ces appareils se composaient d'une bassine C à double fond ou à serpent surmontée d'un dôme A ; le tuyau d'abduction des vapeurs I, débouchait dans le tuyau vertical O communiquant avec le condenseur et la pompe à air. La vapeur entraînait dans le double-fond par la tubulure H et l'eau condensée s'écoulait par G. Un thermomètre D donnait la température et une sonde B servait à prélever des échantillons. La vidange se faisait par E. Les vésicules sucrées entraînées se condensaient, descendaient en M par I et étaient extraites par S. La vapeur, pour se dégager, devait traverser la valve L solidarisée avec une vanne ouvrant plus ou moins l'ajustage K amenant l'eau d'un réservoir à niveau constant R. Une pompe à air produisait dans le condenseur un vide d'environ 50 cm. de mercure.

Cet appareil réalisait une première utilisation de la vapeur extraite du liquide à évaporer ; en la liquéfiant par injection d'eau froide, on produisait un vide relatif qui facilitait l'évaporation. On employait pour l'évaporation le condenseur séparé appliqué par Watt à la machine à vapeur.

Evaporation à multiple effet (Vielfache Verdampfung). — En 1829, Pecqueur imagina un système d'évaporation à effets multiples sous pression qui fut appliqué dans les fabriques de produits chimiques.

Dans ce système un foyer chauffait une chaudière fermée contenant le liquide à évaporer ; la vapeur dégagée dans ce premier corps allait chauffer une seconde chaudière également fermée, et enfin la vapeur produite dans cette dernière allait chauffer une dernière chaudière ouverte ; une légère pression régnait dans les deux premières chaudières. Cet appareil pouvait donner une économie considérable de combustible, puisqu'un kilo de vapeur évaporait 3 k. d'eau ; mais il ne se répandit pas dans l'industrie sucrière, parce que la caramélisation du sucre était encore plus forte que dans les chaudières à simple effet.

En 1830 un ingénieur d'origine française, Norbert Rillieux (1), imagina de faire l'évaporation à multiple effet *dans le vide* et il prit un brevet ; mais comme ce système exigeait tout un attirail de machines et de pompes et que les fabricants étaient réfractaires à l'emploi des moteurs à vapeur, l'inventeur ne put appliquer son invention en France. Ce ne fut qu'en 1845 qu'il put faire fonctionner

(1) Né à la Nouvelle-Orléans (Canada) en 1806, descendant d'un des compagnons de Lafayette établi en Amérique, fils de Vincent Rillieux, l'inventeur de la machine à comprimer les balles de coton, il était en 1830 chargé de la chronique scientifique du *Temps*, et fut plus tard chargé d'un cours de mécanique appliquée à l'Ecole Centrale. Il s'occupa de sucrerie de 1830 à 1865, puis d'archéologie de 1865 à 1879. Ensuite il s'occupa de nouveau de sucrerie et perfectionna le triple effet par une meilleure purge des eaux condensées et des gaz. En 1881, il inventa les *Chauffages à effets multiples*.

un triple effet dans une sucrerie de canne qu'il dirigeait dans la Louisiane.

Appareil primitif de Rillieux. — Cet appareil était formé de 4 caisses cylindriques horizontales supportées par des colonnes en fonte dans l'intérieur desquelles circulait la vapeur passant d'une caisse dans l'autre. Un dôme surmontait chaque chaudière qui avait l'apparence d'un générateur de locomotive, comprenant en avant la boîte à vapeur représentant le foyer et en arrière la boîte des eaux condensées. La première caisse chauffait la deuxième caisse et la quatrième

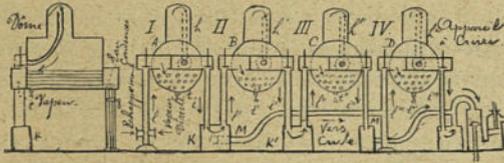


Fig. 173. — Triple effet primitif Rillieux avec cuite à double effet.

caisse qui était l'appareil à cuire. Cet appareil se composait donc d'un véritable triple-effet et d'une cuite à double effet. Il présentait les inconvénients suivants: Par suite de la forme cylindrique de la chaudière, la hauteur du liquide dans le cylindre était très grande et l'espace réservé pour le jeu de l'ébullition était trop petit. En outre, le démontage des tubes était une opération longue et pénible.

Néanmoins le succès de cet appareil fut tel que vers 1850 il était déjà très répandu en Louisiane, à Cuba et au Mexique. A cette époque, un monteur de Rillieux vendit les plans de l'inventeur au constructeur allemand Tischbein, qui monta quelques appareils en Allemagne.

Florent Robert (un Français, né à Grenoble), fabricant de sucre (1) à Seelowitz (Autriche), remplaça les caisses horizontales de Rillieux par des caisses verticales; il fit circuler le liquide dans les tubes, tandis que la vapeur se condensait à l'extérieur. De cette façon, les bulles de vapeur peuvent se dégager plus librement, et les dépôts laissés par le jus dans les tuyaux peuvent s'enlever à l'aide d'une brosse, ce qui est très important dans le cas de jus qui incrustent beaucoup comme ceux de betteraves.

En 1852, Tischbein vendit les plans de Rillieux à Cail en France. Mais ces constructeurs ne réussirent pas à propager le système. Lorsqu'ils apprirent le succès de F. Robert, ils envoyèrent à Seelowitz des ingénieurs qui copièrent les appareils, qu'aucun constructeur ne connaissait encore, Robert ayant construit lui-même ses appareils verticaux; puis ils firent des appareils qui n'étaient que la reproduction servile des données recueillies à Seelowitz.

(1) Florent Robert fit ses études au séminaire de Grenoble, puis, au moment de se faire abbé, il partit en Autriche pour les continuer. Il vint apprendre la fabrication du sucre à Valenciennes et alla s'installer en Moravie (Autriche) sur le domaine de Grass Seelowitz, propriété d'un archiduc, comprenant environ 3000 hect. en 7 fermes. Fl. Robert l'exploita en culture intensive avec beaucoup de succès, et il y construisit une sucrerie, une raffinerie et une distillerie. C'était un homme très actif et un esprit très cultivé. Son fils, Jules Robert, est l'inventeur de la « diffusion ».

Table des tensions de la vapeur d'eau saturée aux diverses températures (Classes).

Pression	Vide	Température												
1	75	11.3	19	34.5	79.3	64	12	95.3	95	19	106.3	126	50	114.7
2	74	22.4	19.5	35	79.7	65	11	95.7	96	20	106.6	127	51	114.9
3	73	29.1	20	35.5	80.0	66	10	96.1	97	21	106.9	128	52	115.2
4	72	34.2	20.5	36	80.4	67	9	96.5	98	22	107.2	129	53	115.4
5	71	38.3	21	37	81.0	68	8	96.9	99	23	107.5	130	54	115.7
6	70	41.7	21.6	38	81.7	69	7	97.3	100	24	107.8	131	55	115.9
6.5	69.5	43.2	22	39	82.4	70	6	97.7	101	25	108.1	132	56	116.1
7	69	44.6	22.5	40	83.0	71	5	98.1	102	26	108.4	133	57	116.3
7.5	68.5	46.0	23	41	83.6	72	4	98.5	103	27	108.7	134	58	116.6
8	68	47.2	23.5	42	84.2	73	3	98.9	104	28	109.0	135	59	116.8
8.5	67.5	48.4	24	43	84.8	74	2	99.3	105	29	109.3	136	60	117.1
9	67	49.6	24.5	44	85.4	75	1	99.6	106	30	109.6	137	61	117.3
9.5	66.5	50.7	25	45	86.0	76	0	100.0	107	31	109.8	138	62	117.5
10	66	51.7	25.5	46	86.5	77	1	100.4	108	32	110.1	139	63	117.8
10.5	65.5	52.7	26	47	87.1	78	2	100.7	109	33	110.3	140	64	118.0
11	65	53.6	26.5	48	87.7	79	3	101.1	110	34	110.6	141	65	118.3
11.5	64.5	54.5	27	49	88.2	80	4	101.4	111	35	110.9	142	66	118.5
12	64	55.4	27.5	50	88.7	81	5	101.8	112	36	111.1	143	67	118.7
12.5	63.5	56.3	28	51	89.2	82	6	102.1	113	37	111.4	144	68	118.9
13	63	57.2	28.5	52	89.7	83	7	102.5	114	38	111.7	145	69	119.1
13.5	62.5	58.0	29	53	90.2	84	8	102.8	115	39	111.9	146	70	119.4
14	62	58.7	29.5	54	90.7	85	9	103.2	116	40	112.2	147	71	119.6
14.5	61.5	59.5	30	55	91.2	86	10	103.5	117	41	112.4	148	72	119.8
15	61	60.2	30.5	56	91.7	87	11	103.8	118	42	112.7	149	73	120.0
15.5	60.5	61.0	31	57	92.2	88	12	104.1	119	43	112.9	150	74	120.2
16	60	61.6	31.5	58	92.6	89	13	104.4	120	44	113.2	151	75	120.4
16.5	59.5	62.3	32	59	93.1	90	14	104.7	121	45	113.5	152	76	120.6
17	59	63.0	32.5	60	93.5	91	15	105.1	122	46	113.7			
17.5	58.5	63.6	33	61	94.0	92	16	105.4	123	47	113.9			
18	58	64.2	33.5	62	94.4	93	17	105.7	124	48	114.2			
18.5	57.5	64.8	34	63	94.8	94	18	106.0	125	49	114.4			

En 1855, Cail exposa un triple-effet à Paris. Robert démontra par une brochure que la prétendue invention de Cail n'était autre que l'appareil de Seelowitz copié jusque dans ses erreurs ; mais Cail n'en continua pas moins à jouir du monopole de son brevet français, et de vendre ses appareils très cher ; si bien que dix ans après (1864) il n'y avait encore que très peu de triple-effets en France (à cause de leur prix !) En Allemagne, en l'absence de législation pour les brevets, la construction était libre, et l'appareil Robert se répandit très rapidement. Aujourd'hui encore, en Allemagne et en Autriche, toute chaudière à surface de chauffe à tubes verticaux dans laquelle on fait l'ébullition, s'appelle « un Robert ».

Avant d'entrer dans les détails de cette évaporation, nous allons rappeler quelques lois qu'il est indispensable de connaître :

1° Sous la pression de l'atmosphère, 1 k. 033 gr. par cmq, représentée par une colonne d'eau de 10 m. 33, ou une colonne de mercure de 760 mm., l'eau bout à 100° ; sous des pressions plus fortes ou moins fortes, elle bout à des températures qui augmentent avec la pression et qui sont données par la table ci-contre.

2° Loi. — La température d'ébullition des solutions sucrées ou salines est plus élevée que celle de l'eau pure placée dans les mêmes conditions de pression ; mais la vapeur émise par la solution sucrée ou saline bouillante est la même que celle qu'émet l'eau pure bouillant dans les mêmes conditions. Quand la solution bouillante est en couche épaisse, la pression du liquide s'ajoute à celle de l'atmosphère au-dessus du liquide et la température d'ébullition du liquide est, par suite, plus élevée.

3° Loi. — La différence entre la température d'ébullition de la solution bouillante et la température de la vapeur qu'elle émet reste la même, quel que soit le vide dans l'appareil, si la concentration et la composition de la solution sucrée restent les mêmes.

Pour une solution sucrée pure (pureté = 100) à 30 p. 100 de sucre, les deux températures d'ébullition diffèrent toujours de 0,6, quels que soient le vide ou la pression. Pour des produits impurs, l'écart des deux températures est plus élevé pour une même teneur en matière sèche que pour les solutions sucrées pures.

Triple effet vertical (Stehender Dreikoerper Verdampfapparat) (1).

— Chaque chaudière de ce triple effet se compose : 1° d'un tambour tubulaire T (fig. 174) qui est un cylindre en fonte ou en tôle de 1 m. 50 de long environ posé verticalement et fermé à chaque extrémité par deux plaques en bronze phosphoreux, dites plaques tubulaires, percées de trous et reliées entre elles par des boulons entretoises. Dans

(1) Le mot *triple-effet*, adopté en France vers 1853, désigne très bien cet appareil. Le mot allemand *Dreikoerper Apparat* (appareil à 3 corps), manque de précision. Il en est de même du nom anglais *Three pan apparatus* donné primitivement, en Amérique, à l'appareil Rillieux. Le nom de triple-effet a du reste passé dans la plupart des langues européennes.

ces trous, qui sont en nombre égal sur chaque plaque, s'adaptent des tubes en laiton étamé, mandrinés dans la plaque tubulaire à l'aide du dudgeon.

Le tambour porte à la partie supérieure de sa surface cylindrique, une grosse tubulure avec bride B sur laquelle vient se boulonner une valve qui sert à l'admission de la vapeur.

A la partie inférieure, le tambour est fermé par un large couvercle en fonte C, portant un trou d'homme fermé à son tour par un couvercle boulonné (fig. 174).

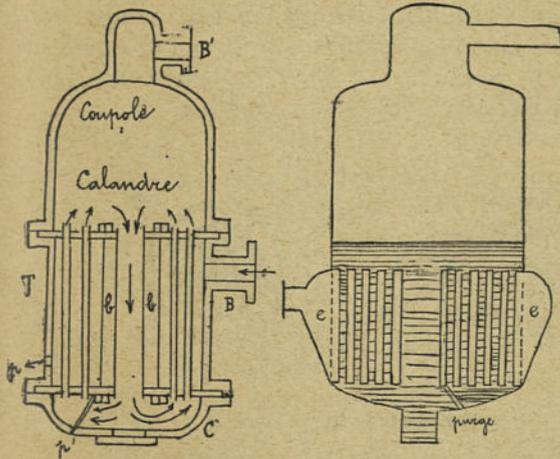


Fig. 174. — Caisse de multiple effet vertical.

2° De la calandre, qui est cylindrique, terminée en haut par une calotte sphérique (coupole) et qui constitue un dôme dans lequel se produit l'ébullition. Sur ce dôme se trouve une partie cylindrique de plus petit diamètre portant une tubulure à bride B' sur laquelle se boulonne le tuyau de communication avec la caisse suivante.

La vapeur entrant par l'ouverture B dans l'espace intertubulaire, se condense, il faut évacuer l'eau de condensation. On le fait en adaptant une prise à la partie inférieure du tambour tubulaire en p ou directement sur la plaque tubulaire en p'. Le premier système est d'une construction plus simple, mais il laisse toujours une couche d'eau condensée sur la plaque inférieure, on le préfère généralement cependant à cause de sa simplicité.

La vapeur en se condensant chauffe et fait bouillir le liquide contenu dans les tubes ; il se forme donc dans ces tubes un mélange de jus et de vapeur moins dense qui tend à prendre un mouvement ascensionnel assez rapide. Pour favoriser ce mouvement, on dispose parfois au centre de la caisse un gros tube ; le jus de ce tube étant moins chauffé conserve une densité plus grande que celui de l'intérieur des tubes, et il s'établit entre les petits tubes et le gros un mouvement de circulation qui favorise considérablement l'évaporation.

Pour répartir la vapeur régulièrement sur tous les tubes plusieurs constructeurs donnent au tambour tubulaire une forme renflée, et ils interposent entre ce tambour et le faisceau de tubes une enveloppe

cylindrique en tôle perforée. La vapeur arrivant par la valve d'admission se répand dans l'espace laissé entre le tambour et la tôle perforée, puis elle se répartit également sur tous les tubes, chauffant davantage les tubes de la périphérie que ceux du centre. Dans ce cas, la tubulure de purge des eaux de condensation se place vers le centre, à côté du gros tube.

Appareil Dudgeon. — Il se compose d'une pièce en acier P, percée de 4 fenêtres, dans lesquelles on peut loger trois galets cylindriques A en acier durci (fig. 175). Une tige conique B traverse la pièce dans le sens longitudinal et écarte plus ou moins les galets A de l'axe. La manœuvre se fait en plaçant l'outil dans le tube, les galets s'appuyant sur la partie à dudgeonner. Une bague extérieure C, qui s'appuie sur l'extrémité du tube règle la position des galets. L'ouvrier tourne le dudgeon en enfonçant progressivement la tige conique.

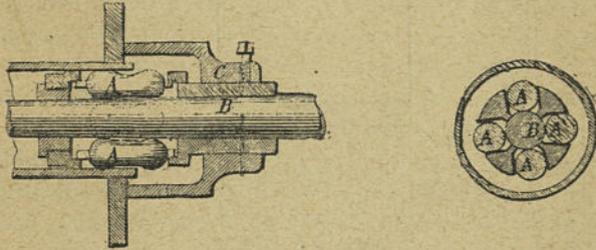


Fig. 175. — Mandrinage des tubes (Dudgeon).

Les trois caisses du triple effet sont placées sur une même ligne et portent des bracons par lesquels elles reposent sur des sommiers en fer. Le tube de dégagement des vapeurs de chaque caisse aboutit dans l'espace intertubulaire de la caisse suivante ; celui de la 3^e caisse communique avec un condenseur. La 1^{re} caisse est chauffée par les vapeurs d'échappement venant des moteurs (fig. 176).

Ces moteurs sont généralement sans condensation, mais la première caisse joue le rôle d'un véritable condenseur tubulaire, c'est-à-dire d'un condenseur par surface comme celui qu'on rencontre dans les machines à vapeur usitées dans la marine ; elle n'en diffère qu'en ce qu'elle ne possède aucune pompe à air.

Il n'y a que le dôme de la 3^e caisse qui soit mis en communication avec un condenseur et une pompe à air. Mais le vide partiel que l'on produit dans cette 3^e caisse abaisse considérablement la température de l'ébullition du jus de cette caisse et par conséquent de la surface tubulaire.

En effet, d'après la loi de Dalton, la force élastique de la vapeur pendant l'ébullition est égale à la tension de l'atmosphère environnante ; la pression diminuant au-dessus de la surface liquide, les

bulles de vapeur peuvent se former à une tension et par suite à une température plus basse.

D'autre part, en vertu du principe de la paroi froide de Watt, d'après lequel la tension d'une vapeur contenue dans deux vases communicants, ayant des températures différentes, correspond à la température la plus basse des deux vases, la tension de la vapeur s'abaissera également dans la 2^e caisse. Tout naturellement, le vide diminue d'une caisse à l'autre, et c'est ce qui fait qu'en admettant de la vapeur dans l'espace intertubulaire de la première caisse, où existe le vide le moins élevé, on arrive à faire bouillir les deux autres où le vide est plus élevé et par conséquent la tension moindre.

Le jus à évaporer arrive dans la calandre de la première caisse du

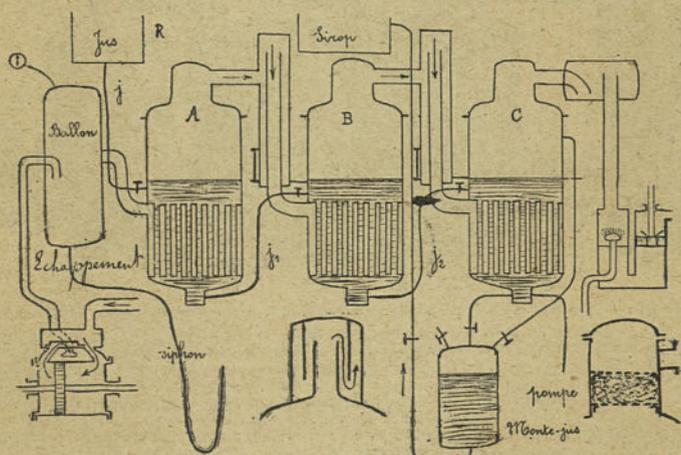


Fig. 176. — Triple effet. Schéma d'ensemble.

triple-effet par un tuyau qui débouche au-dessus de la plaque tubulaire supérieure de cette caisse. On a soin de chauffer ce jus jusqu'à sa température d'ébullition avant de l'envoyer dans cette caisse ; comme, par suite du vide relatif la température d'ébullition est moins élevée dans la caisse, il se produit immédiatement une ébullition très vive qui augmente la puissance de l'appareil.

On n'achève pas l'évaporation dans cette première caisse, pendant le fonctionnement de l'appareil, le jus passe constamment de la première caisse dans la deuxième et de la deuxième dans la troisième, par des tuyaux j_1 , j_2 , faisant communiquer le fond de chacune d'elles avec la calandre de la caisse suivante et débouchant au-dessus de la plaque tubulaire supérieure comme nous l'avons vu pour le tuyau d'alimentation. L'évaporation se fait à une température de plus en plus basse à mesure que la concentration s'avance, ce qui est parfaitement logique, les dangers d'altération du sucre par la chaleur

devenant plus grands à mesure que la concentration des matières étrangères augmente.

Vases de sûreté (*Saftfænger*, *Safety vessel* ou *catch all*). — Les jus moussent quelquefois beaucoup pendant l'évaporation ; la formation de ces mousses détermine des entraînements de liquide qui pourraient occasionner des pertes sérieuses en sucre et même d'autres accidents plus graves aux générateurs quand on emploie les eaux condensées à l'alimentation de ces appareils.

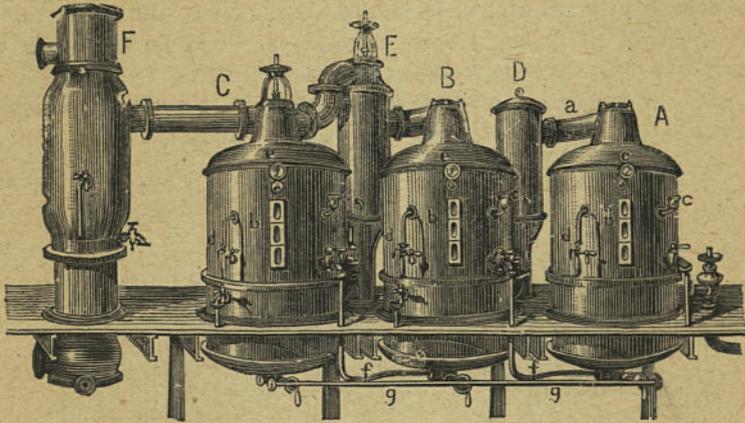


Fig. 177. — Triple effet ancien à basses calandres, et à réchauffeur à simple circulation.

A, B, C, caisses ; D, vase de sûreté recevant par *a* la vapeur de A ; E, vase de sûreté recevant la vapeur de B et la renvoyant dans la caisse C ou directement en F quand la caisse B est en nettoyage. F, réchauffeur à simple circulation ; *b*, lunettes en cristal ajustées dans un encadrement en bronze qui permettent de surveiller l'ébullition et de constater qu'il y a sur la plaque tubulaire de la mousse mais pas de liquide ; *c*, entonnoir à robinet pour introduire de la graisse et abattre la mousse, ou pour laisser rentrer l'air quand on arrête l'appareil ; *d*, éprouvette pour la prise d'échantillons ; *e*, vacuomètre ou indicateur de vide ; *f*, tuyaux pour le passage du jus d'une caisse dans l'autre ; *g*, tuyau de vidange.

L'entraînement du jus est d'autant plus facile que l'évaporation est plus active (c'est-à-dire que les bulles de vapeur crèvent plus énergiquement à la surface), que la viscosité des liquides est plus grande et que la vitesse de la vapeur est plus importante. Dans les premiers corps le danger d'entraînement est plus faible, parce que la vapeur qui prend naissance sous une très faible pression ou un léger vide n'occupe qu'un petit volume (1700 l. par kilog.) que le liquide est très fluide et que la vitesse de la vapeur est faible. Mais dans les caisses à sirop, où la vapeur occupe un volume 5 à 6 fois plus grand (10.000 l. à 54°C) que sous la tension de l'atmosphère, le liquide plus visqueux au moment où les vésicules crèvent est pulvérisé, et si les gouttelettes qui en résultent parviennent dans un tuyautage où la vapeur a une vitesse de 100 m. et plus par seconde, elles sont entraînées jusqu'au condenseur et se perdent dans l'eau de la colonne barométrique. Pour éviter cela, on a installé à côté des caisses ou au-dessus des caisses des vases de sûreté, mais le liquide retenu par ces vases étant fortement dilué par

de l'eau condensée se refroidit et constitue un milieu de culture où les microorganismes se multiplient abondamment. Si ce jus fortement infecté reflue dans la caisse à sirop, les bactéries peuvent facilement s'y développer quand le vide est grand, et, par suite, la température basse. En tout cas, la température de ces sirops est insuffisante pour détruire les bactéries. Le sirop est ainsi infecté par des germes vivants qui se propagent aux produits suivants, quand on ne maintient pas le liquide pendant un temps suffisant à environ 100° C.

Le meilleur vase de sûreté est une calandre fort haute. Les particules de jus entraînées par la vapeur sont soumises à deux efforts contraires. A la vitesse initiale du jus lancé verticalement ou obliquement vers le haut, s'ajoute la vitesse de la vapeur, mais la pesanteur agit en sens contraire. Or, dans la calandre, la vitesse de la vapeur n'est que de 4 à 5 m. par seconde, soit celle d'un vent modéré. Donc, les vapeurs à très basse tension ne contribuent que fort peu à accélérer le mouvement ascendant. Par contre, la pesanteur agit en ralentissant également les grandes et les petites gouttelettes. Si l'on fait la calandre assez haute pour que les plus petites gouttelettes y perdent leur vitesse ascensionnelle, ce qui exige une hauteur de 3 à 5 m. au-dessus du niveau du jus, on n'a à craindre aucune perte de jus, comme le démontre la recherche du sucre dans l'eau de la colonne barométrique.

Dans l'ancien système de vase de sûreté calandre de chaque caisse pénètre dans un tube de gros diamètre qui entoure la partie de Robert, la vapeur sortant du lôme de la verticale du tuyau de communication, vient rencontrer ce tuyau perpendiculairement, remonte verticalement, puis pénètre dans le tuyau vertical central qui la conduit à la caisse suivante. Les vésicules sucrées entraînées par la vapeur viennent se déposer contre la paroi de ce tube et se réunissent au fond de l'espace annulaire en un liquide qu'on évacue dans la caisse suivante. Le dernier vase de sûreté se vide dans la même caisse.

Pour économiser de la place, on installe maintenant les vases de sûreté au-dessus des caisses et on cherche à briser les vésicules sucrées par les chicanes. On emploie dans ce but deux tubes concentriques. Le liquide condensé peut rentrer dans la caisse suivante, mais, surtout pour les dernières

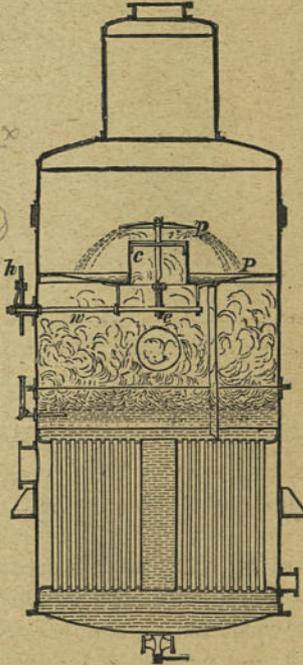


Fig. 178. — Émousseur Ç. Heckmann.

caisses, il est préférable de le faire couler au dehors (Voir plus loin : Cuite).

D'une façon générale, il convient de ne pas trop se fier aux vases de sûreté ou brise-mousses, et le mieux est de toujours favoriser l'abattement des mousses dans le vase même où elles se sont produites ; on y arrive en maintenant au-dessus du liquide en ébullition, un espace assez vaste. C'est pour cela que l'on préfère maintenant les calandres

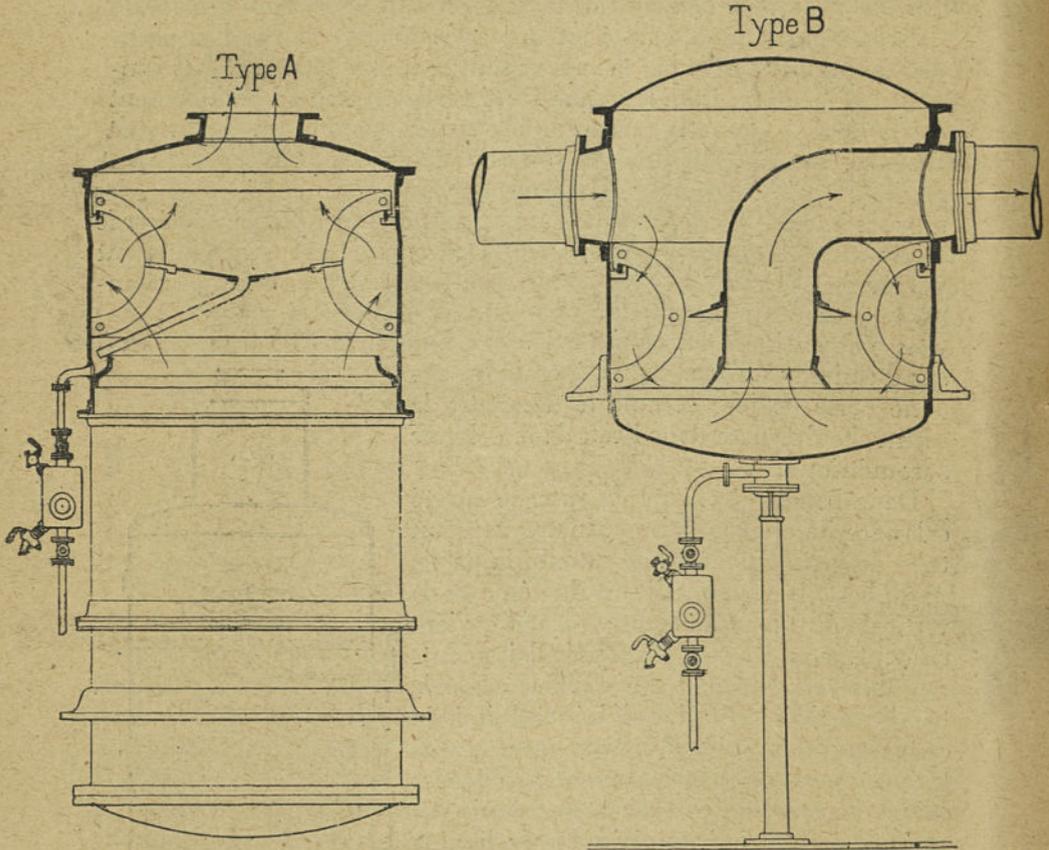


Fig. 179. — Désucreur Koenig (construction Magnien).

en tôle, auxquelles il est facile de donner une grande hauteur (fig. 180)

Dans le vase de sûreté ou émousseur Heckmann la vapeur chargée de vésicules se dégagant par la cheminée (fig. 178) que porte le diaphragme p, ces vésicules se brisent en rencontrant le couvercle mobile p, retombent en gouttelettes sur le diaphragme et par un tuyau vertical le liquide retourne dans la caisse.

Récupérateur de sucre Koenig. — Cet appareil peut être monté dans les caisses de multiple effet (A) ou être intercalé dans les con-

duites de vapeur (tuyau de communication). Les vapeurs de jus passent par une grande quantité de lamelles en métal dont les sections forcent la vapeur à suivre un parcours sinueux et très divisé. Les particules de sirop entraînées se déposent le long des stries, se réunissent et s'écoulent vers un conduit qui les extrait de l'appareil (Fig. 179).

Faisceau tubulaire mobile (Herausnehmbarer Röhrensystem; Moveable tubular heating box. — Dans certains multiples effets le

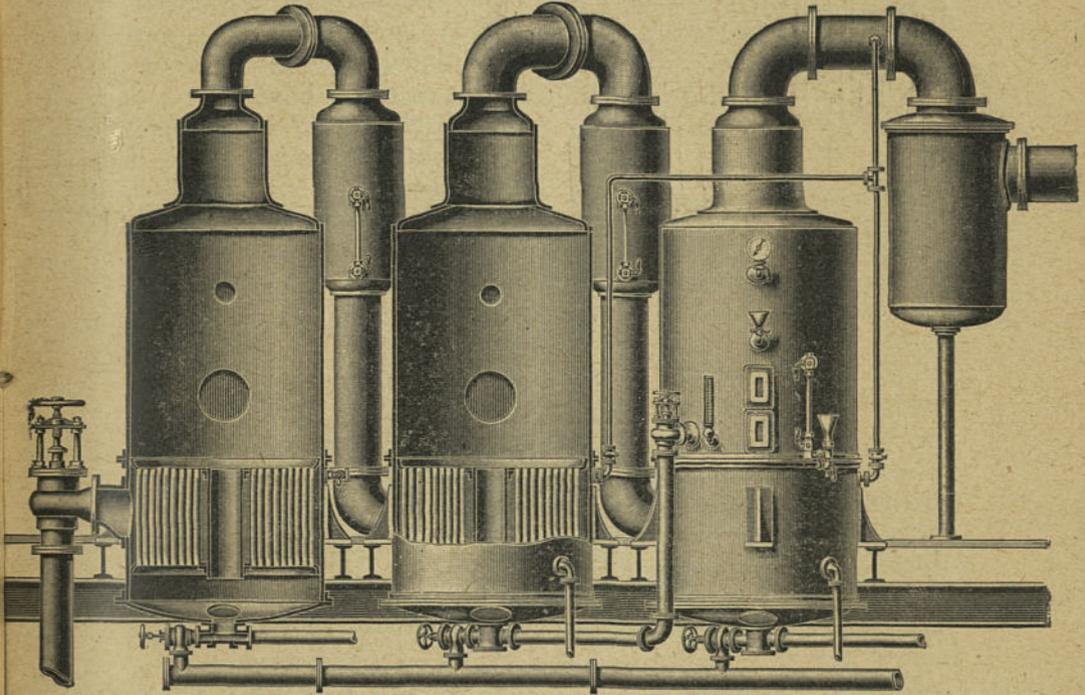


Fig. 180.— Triple effet moderne à hautes calandres et faisceau tubulaire amovible (Grevenbroich).

faisceau tubulaire est amovible ; il est alors simplement suspendu dans le tambour tubulaire. Il se compose de deux fortes plaques tubulaires d'un diamètre plus petit que le tambour et dans lesquelles sont serties les tubes. Tout le faisceau est entouré d'une chemise et est suspendu dans le tambour de la caisse. Une grosse tubulure qui traverse le tambour amène la vapeur dans les espaces intertubulaires et l'eau condensée s'écoule par une petite tubulure placée dans la plaque tubulaire du bas. Ce système favorise la circulation du jus comme le fait le gros tube central ; le jus s'élève par les tubes et redescend à la périphérie entre le faisceau tubulaire et la caisse.

La fig. 180 représente un triple effet moderne avec faisceau tubulaire mobile (ateliers de Grevenbroich).

Le triple ou quadruple effet comprend parfois 4, 5, 6 caisses, dont plusieurs sont réunies pour former un seul corps (groupées en parallèle ou en quantité, comme disent les électriciens), et recevant la même vapeur ; cela se présente surtout dans les cas de transformation des appareils. Dans ce cas, il est recommandable de ne pas envoyer la vapeur de chauffage et le jus directement du corps précédent dans chacune de ces caisses, comme on le fait généralement, mais de relier ces caisses entre elles, de façon que le jus entre dans l'une d'elles et sorte par le bas, par un tuyau de grand diamètre, pour aller dans l'autre ou les autres caisses, pendant que la vapeur parcourt les espaces

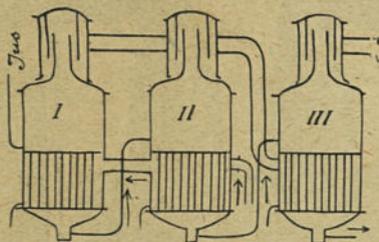


Fig. 181. — Caisses I et II ne formant qu'un effet.

intertubulaires en sens inverse. On obtient ainsi une bonne circulation, une capacité productive plus grande et un contrôle plus facile de la marche de l'appareil ; en effet, il suffit de régler le niveau du jus dans la première des caisses réunies en quantité, pour qu'il soit réglé également dans les autres en même temps (fig. 181).

Alimentation du triple-effet (Speisung, Feeding)

L'introduction du jus dans la première caisse du triple-effet se faisait autrefois au moyen d'un réservoir en charge R, c'est-à-dire d'un réservoir placé à un niveau supérieur à celui du liquide dans le triple-effet. Quand le vide dans la première caisse est suffisant, on peut même aspirer du sirop d'un réservoir placé plus bas. Dans le cas d'un réservoir en charge, il faut pomper le jus dans ce réservoir. Dans ces dernières années on a généralement pris l'habitude de refouler directement le jus dans la première caisse pour faire l'alimentation qui est alors très régulière.

Extraction du sirop. — Anciennement, on extrayait le sirop de la dernière caisse au moyen d'un monte-jus placé en contre-bas de cette caisse. Le haut de ce monte-jus communiquait par un tuyau muni d'un robinet avec la partie supérieure de la calandre de la 3^e caisse, en sorte que le même vide n'existait que dans la caisse et que le sirop s'écoulait de son propre poids dans le monte-jus. On réglait l'écoulement du sirop d'une façon continue et quand le monte-jus était plein, on le vidait en y faisant arriver la pression de la vapeur (fig. 176).

Aujourd'hui, on remplace généralement ce monte-jus par une pompe dont on règle l'allure et les robinets de manière à ce que la densité du sirop reste constante dans la dernière caisse.

Condenseur et pompe à air. — Nous avons vu que les vapeurs se dégageant de la dernière caisse sont condensées dans un condenseur, muni d'une pompe à air. Il y a deux systèmes adoptés pour ces appa-

reils. Dans les petites sucreries, on rencontre encore le condenseur ordinaire des machines à vapeur avec une pompe à air humide, c'est-à-dire une pompe enlevant à la fois l'eau et les gaz incondensables, tandis que dans les usines modernes on emploie le condenseur à colonne barométrique.

Condenseur ordinaire (Nasser Condensator, Moist air Condenser).

— Ce condenseur se compose d'un cylindre vertical F (fig. 182) fermé à sa partie inférieure et raccordé par sa partie supérieure au tuyau d'évacuation des vapeurs de la 3^e caisse. Un tuyau T pénètre, s'élève dans ce cylindre et se termine par une partie perforée qui sert à diviser finement l'eau de condensation qu'on injecte par ce tuyau. Le condenseur communique par une tubulure latérale A avec la pompe à air. En face de cette tubulure un regard fermé par une porte P avec étrier à vis V permet la visite.

Pompe à air humide (Nasse luft pumpe. Moist air pump). — Nous avons vu que les premières pompes à gaz étaient des pompes à clapet et qu'actuellement on emploie des pompes à tiroir. D'une façon générale chacun de ces systèmes de pompe présente ses avantages et ses inconvénients. Les pompes à clapets se prêtent mal aux grandes vitesses par suite de l'inertie qu'opposent les clapets à l'ouverture et à la fermeture ; au contraire dans les pompes à tiroir la rapidité de fermeture des lumières peut être très grande ; il en résulte que l'on peut donner à ces pompes de grandes vitesses et, par suite, diminuer leurs dimensions. Les pompes à clapets étant d'une construction plus simple, moins sujettes à l'échauffement, sont souvent préférées pour les petites installations. Pour les pompes puissantes, on préfère le système à tiroir. Dans le cas de la pompe à gaz, la différence de tension entre l'aspiration et le refoulement étant très faible, les clapets se ferment très lentement ; en outre, le volume de gaz étant très grand, il faudrait une pompe énorme.

Pour les pompes à air humide, on emploie toujours le système à clapets, car le volume d'air à aspirer est faible, les différences de tension entre l'aspiration et le refoulement sont grandes, et enfin il n'y a pas à s'inquiéter des espaces nuisibles puisqu'ils sont constamment remplis par de l'eau. Les pompes à air humide n'exigent donc pas de bien grands soins de construction ; mais elles doivent avoir un volume suffisant pour enlever l'eau et en outre les gaz dégagés à la fois par le jus et par l'eau de condensation dont l'élévation de température augmente encore le volume. Or, le volume d'eau qu'il faut employer à la condensation est d'autant plus grand que la température est plus élevée ; il en résulte que pendant les jours chauds, on est parfois obligé d'envoyer beaucoup d'eau au condenseur, la pompe est alors noyée, l'enlèvement des gaz ne se fait plus que très imparfaitement ; le vide devient mauvais et la capacité productive de l'appareil à évaporer diminue également.

La pompe à air humide se compose d'un gros cylindre horizontal B (fig. 182), dans lequel se meut un piston C actionné par un moteur à vapeur monté sur le même bâti que la pompe. Ce corps de pompe est surmonté d'une chambre à 3 compartiments ADD, et enfin au-

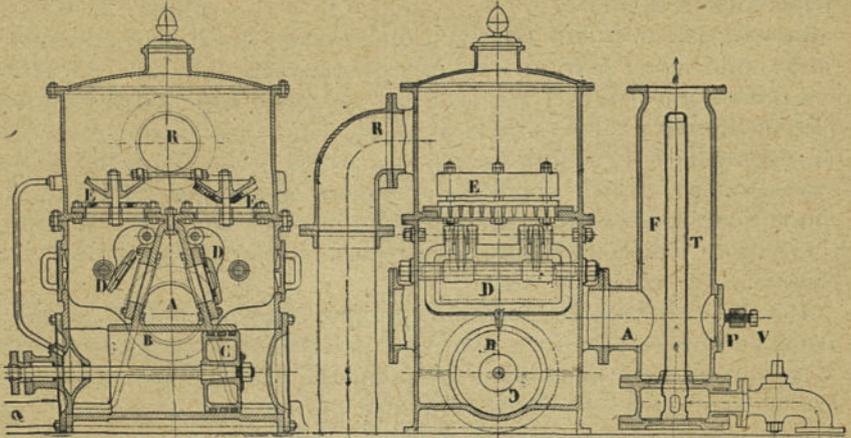


Fig. 182. — Pompe à air humide (Mollet, Fontaine et Co, Lille). — A gauche, coupe longitudinale ; à droite, coupe transversale.

dessus de cette chambre se place une bache munie d'un déversoir R pour l'écoulement de l'eau et d'une cheminée courte pour l'évacuation des gaz. Le compartiment du milieu communique avec le tuyau A venant du condenseur ; ses deux faces latérales, légèrement incli-

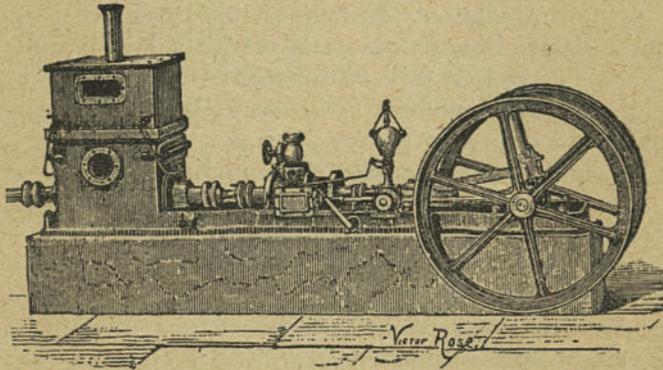


Fig. 183. — Pompe à air humide.

nées, portent les clapets d'aspiration DD. Les deux compartiments extrêmes communiquent par des lumières avec les deux extrémités du cylindre ; leurs faces supérieures, séparant la chambre d'aspiration de la bache, portent les clapets de refoulement EE.

Les clapets de cette pompe sont en caoutchouc, supportés par des grilles en bronze. Le caoutchouc employé est du Para sans aucun

tissu interposé. Ils ont 28 m/m d'épaisseur. Les clapets avec tissu interposé ne durent pas. Les clapets et les grilles doivent être fréquemment visités, parce que le calcaire de l'eau forme des incrustations très nuisibles à leur fonctionnement.

La pompe à air humide n'est plus intéressante que dans le cas d'un appareil isolé, où l'on appréhende l'installation du condenseur barométrique.

Pompe à air sèche (Trockene luft pumpe, Dry air pump). — Avec le condenseur sec ou barométrique, la pompe à air n'a pas autre chose à enlever que les gaz incondensables, d'où son nom de pompe à air sèche. Cette pompe peut être beaucoup plus petite, mais elle doit être de construction soignée et avec espaces nuisibles réduits au minimum.

En effet, reprenons la formule donnant le rendement volumétrique des compresseurs :

$$R_v = \frac{1 - \frac{t}{s} \times e}{1 - e}$$

En supposant un espace nuisible de 5 p. 100 soit $e = 0,05$, une tension au refoulement $t = 10$ m. d'eau et une tension à l'aspiration $s = 1$ m. 00, nous aurons pour le rendement :

$$R_v = \frac{1 - \frac{10}{1} \times 0,05}{1 - 0,05} = 0,526$$

Avec 10 p. 100 d'espace nuisible, on aurait : $R_v = \frac{1 - \frac{10}{1} \times 0,1}{1 - 0,1} = 0,$

En faisant la compensation on aurait : $R'_v = \frac{1 - \frac{t}{s} \times e^2}{1 - e^2}$

Pour $e = 0,05$, on a $R'_v = \frac{1 - \frac{10}{1} \times 0,05^2}{1 - 0,05^2} = 0,977$, et pour $e = 0,1$, on a $R'_v = \frac{1 - \frac{10}{1} \times 0,1^2}{1 - 0,1^2} = 0,9090 = 90,90$ pour cent.

Les premières pompes à air sèches usitées en Allemagne, où l'usage du condenseur barométrique date d'un demi-siècle, étaient des pompes verticales généralement jumelles et attelées directement au balancier d'un moteur.

Pompe à air sèche de Burckhardt et Weiss. — Le système de compensation qui a été le premier en vogue en sucrerie pour les pompes sèches à tiroir est celui de Burckhardt et Weiss (voir pompe à gaz).

L'air comprimé en avant du piston à la fin de sa course est amené à l'arrière de sa course sur le côté aspirant et vient s'ajouter à l'air aspiré pour être refoulé avec lui. Sur la face du piston devenue le côté

aspirant, la tension de l'air s'est donc immédiatement abaissée à la tension du milieu d'aspiration en sorte que, dès le commencement du mouvement du piston, celui-ci travaille en produisant immédiatement une aspiration. Le diagramme pris sur la pompe sans compensation donne : a, commencement de l'aspiration ; ab, raréfaction de l'air dans l'espace nuisible jusqu'à la tension absolue p du milieu d'aspiration ; bc, période réelle d'aspiration ; cd, compression de l'air jusqu'à la pression atmosphérique ; da, expulsion des gaz à l'extérieur. Avec compensation la pression s'abaisse dès le commencement de la course jusqu'à une tension plus faible r qui atteint rapidement la valeur p ; le point b où l'aspiration réelle commence est donc plus près du commencement de la course de piston. Le rendement volumétrique qui était $R_v = \frac{Cu}{Ct}$ est devenu $R_v = \frac{C'u}{C't}$. (Fig. 184).

Comme dans la pompe à gaz, il faut des recouvrements ; on les fait ici de dimensions telles, que le canal de communication se trouve fermé par la marche du tiroir lorsque les arêtes externes des lumières viennent affleurer les arêtes internes des lumières de la glissière et que s'ouvre alors la communication avec le cylindre pour les tuyaux d'arrivée et de sortie de l'air. Le milieu d'aspiration ne communique donc jamais avec le milieu de compression quand le piston se déplace.

Pour empêcher qu'au moment du changement de direction du tiroir, lorsque les ouvertures d'entrée et de sortie d'air s'ouvrent, l'air refoulé hors du tiroir ne retourne dans le cylindre, on applique sur le

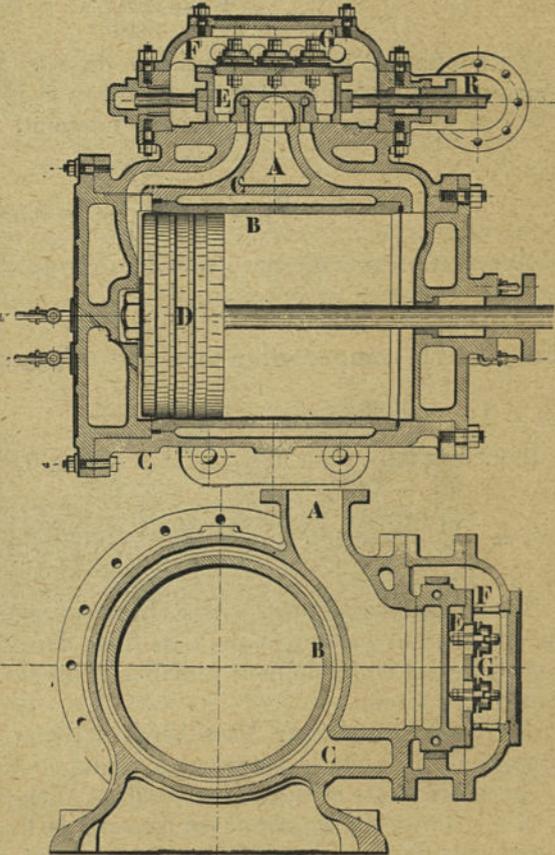


Fig. 185. — Pompe à air sèche (Mollet, Fontaine et Co, Lille).

dos de la coquille un clapet de retenue de très petite levée et laissant de grandes ouvertures de passage. Ce clapet est maintenu en place sur son siège par un ressort dont la tension est d'environ le double du poids de la plaque.

Les pompes à air sèches étant plus petites que les pompes humides,

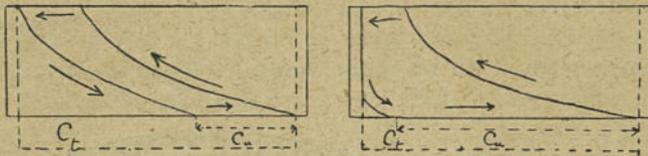
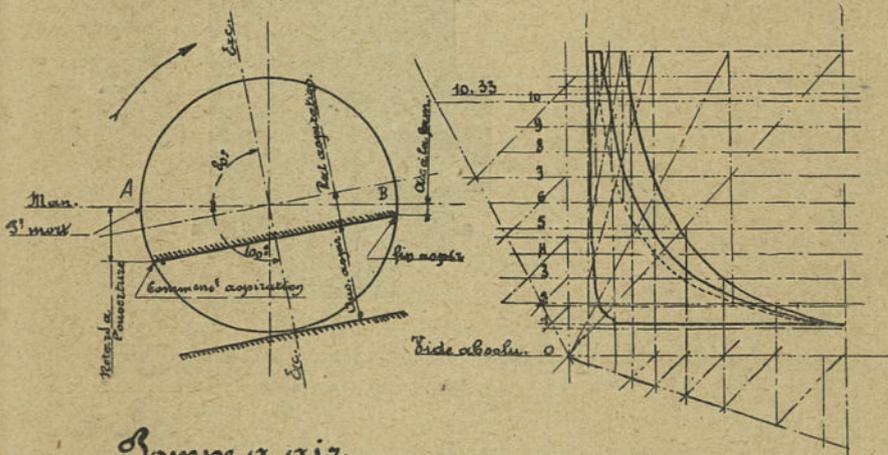


Fig. 184. — Diagramme avec et sans compensation.

elles sont généralement à commande indirecte, c'est-à-dire commandées par une transmission attaquant la poulie de la pompe. Le piston D (fig. 185) se meut dans le cylindre B. Comme il se produit pendant la période de compression de la masse gazeuse un échauffement qui serait nuisible aux rendements volumétrique et dynamique de l'appareil, on combat cet échauffement en faisant circuler de l'eau froide dans la double enveloppe ou chemise C, de façon que la courbe de



Bombe à air.

Fig. 186. — Epure de Reech et diagramme d'une pompe à air.

compression se rapproche de l'isothermique ; on arrive généralement à une courbe intermédiaire entre l'isothermique et l'adiabatique ; elle est d'autant plus rapprochée de l'isothermique que le refroidissement est plus parfait. Le gaz est aspiré par A et les arêtes intérieures du tiroir E. Le refoulement au lieu de se faire directement dans la boîte à tiroir, se fait dans le tiroir même sur le dos duquel sont placées les soupapes G. Ces soupapes ne permettent le refoulement dans la boîte

F que lorsque la pression dans le cylindre est légèrement supérieure à celle du réservoir de refoulement.

La fig. 186 représente l'épure d'une pompe à air sèche. Les pressions sont indiquées comme pour la pompe à gaz en mètres d'eau. La tension à l'aspiration est de 1 m. et au refoulement de 12 m.

Condenseur à colonne barométrique (Trochener Condensator ; Dry-Condenser).

Dans ce système le condenseur E est placé à une grande hauteur et se prolonge jusqu'à un niveau voisin du sol par un tuyau T plongeant dans une bêche pleine d'eau (voir plus loin dessin d'ensemble).

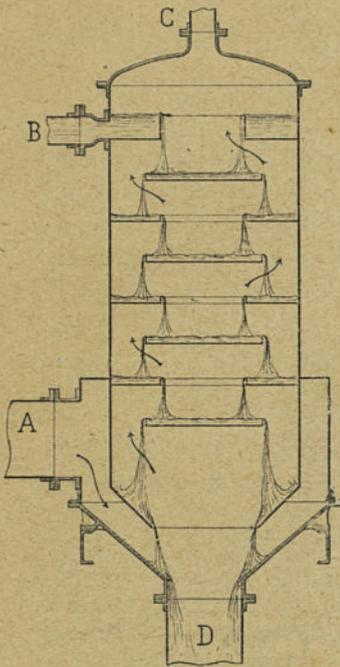


Fig. 187. — Condenseur (F. Moret)

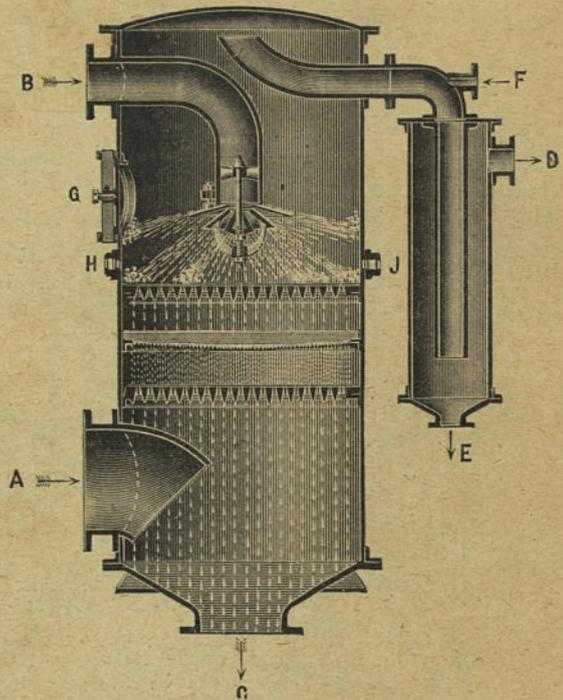


Fig. 188. — Condenseur barométrique à contre-courant et à pluie (Grevenbroich).

La vapeur à condenser arrive par le tuyau A et l'eau de condensation et celle qui provient de la vapeur s'écoule dans le tube D et de là dans la bêche B. La pompe à air aspire en C ; le vide qu'elle produit fait monter l'eau dans la colonne à une hauteur h égale à ce vide. Si le vide était parfait, cette hauteur serait de 10 m. 33. L'eau, qui s'était élevée dans le tube redescend ensuite dans la bêche en faisant place à celle qui arrive du condenseur ; il se produit dans le tube un courant descendant et l'eau s'écoule par un trop plein que porte la bêche. Celle-ci doit être d'un volume suffisant pour ne jamais laisser rentrer de l'air par l'extrémité du tube.

Condenseur à contre-courant à pluie. (Regen-Gegenstrom Condensator ; Rain Countercurrent Condenser). — Actuellement les condenseurs sont toujours à contre-courant, c'est-à-dire que l'eau circule en sens contraire de la vapeur comme dans l'appareil ci-dessus. L'avantage de ce système est que la vapeur rencontre une eau de plus en plus froide à mesure que le mélange s'appauvrit en vapeur et s'enrichit en gaz, c'est-à-dire à mesure que la condensation de la vapeur devient plus difficile par suite de l'influence absorbante des gaz. Pour rendre la condensation plus facile, on divise l'eau en pluie très fine en la faisant arriver sur un plateau perforé avec cheminée centrale que traverse le tuyau d'eau.

Dans le condenseur à contre-courant à pluie des ateliers de Grevenbroich (fig. 188), la vapeur entrant par la tubulure A traverse en sens contraire l'eau froide qui entre par B et qui la condense. L'eau de condensation s'écoule librement par la tubulure C. La division de l'eau entrant par B est produite par trois entonnoirs, superposés puis par trois grilles écartées d'une certaine distance l'une de l'autre. L'air et les gaz incondensables sont aspirés par un tuyau recourbé débouchant sous le couvercle du condenseur. La petite quantité de vapeur entraînée est condensée dans un condenseur supplémentaire en communication par la tubulure avec la pompe à air sèche ; l'eau y entre par F et s'écoule par la tubulure E. Un trou d'homme G permet de visiter le condenseur et des hublots H et J permettent d'en surveiller le fonctionnement.

Enlèvement des eaux condensées et des gaz incondensables dans les faisceaux tubulaires des différentes caisses. — L'eau condensée dans la 1^{re} caisse d'un triple effet ou quadruple effet peut s'écouler directement dans la bêche d'alimentation des générateurs, puisqu'il existe une légère pression dans l'espace intertubulaire de cette caisse. Sur le parcours du tuyau de purge, on installe un purgeur automatique, dit retour allemand, qui laisse passer l'eau, mais empêche le passage de la vapeur. Ces purgeurs ont donné lieu fréquemment à des ennuis, ce qui leur a fait donner le nom de boîte à chagrin. On reproche à ces petits appareils de ne pas permettre le départ de l'air et des gaz lourds.

Dans les espaces intertubulaires des 2^e et 3^e caisses, il règne généralement un certain vide, en sorte que les eaux condensées de ces caisses ne peuvent s'écouler par leur propre poids. En outre ces eaux proviennent de la *vapeur du jus*, et par suite renferment toujours une forte proportion de gaz Az H₃ en dissolution, ce qui leur fait donner le nom d'eaux ammoniacales.

Un moyen bien simple pour enlever ces eaux ammoniacales est de disposer dans le fond des espaces intertubulaires des 2^e et 3^e caisses, des tuyaux de purge et de mettre ces tuyaux en communication avec le condenseur. Mais, de cette façon, on mélange les eaux ammoniacales

qui sont très pures à l'eau de condensation qui est au contraire très impure et dès lors on ne peut plus utiliser ces eaux. En outre, l'ouvrier peut ainsi envoyer de la vapeur en pure perte au condenseur.

Un procédé qui a été employé pour l'extraction de ces eaux est celui d'Henri Corbin, consistant dans l'emploi de siphons dans lesquels les eaux s'écoulaient en formant une colonne faisant équilibre à la dépression existant dans les espaces intertubulaires. Mais ce système est assez encombrant et ne permet pas non plus l'écoulement des gaz lourds. Il est préférable d'employer, comme pour la 1^{re} caisse, des pompes d'extraction comme le faisait Rillieux, qui utilisait de petites pompes à air. Ce procédé a été remis en faveur vers 1871 par M. Jules Linard.

Pour éviter l'emploi de 2 pompes pour les deux caisses, on fait arriver les eaux condensées de ces caisses dans une boîte dite boîte de retour (Fig. 189).

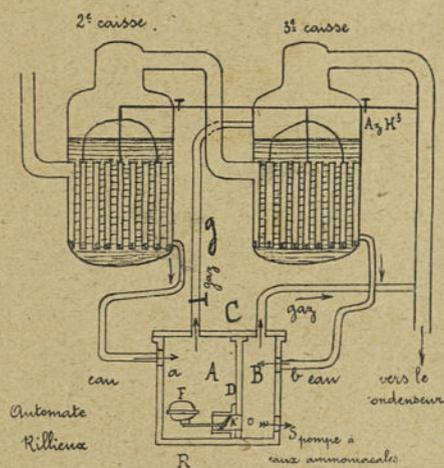


Fig. 189. — Boîte de retour Rillieux

Dans la boîte à retour ou automate de Rillieux, il y a un réservoir en fonte R divisé par une cloison verticale D en deux compartiments A et B et fermé à sa partie supérieure par un couvercle C.

L'eau et les gaz sortant de l'espace intertubulaire de la 2^e caisse, entrent par l'ouverture a dans le plus grand compartiment A, d'où les gaz se dégagent de nouveau par un petit tuyau g, allant dans la caisse suivante et portant un robinet qu'on ouvre légèrement.

L'eau et les gaz provenant de l'espace intertubulaire de la 3^e caisse entrent par l'ouverture b dans le petit compartiment B.

Les deux compartiments A et B peuvent communiquer par une ouverture o fermée ordinairement par le clapet K. Aussitôt que le niveau de l'eau, dans le compartiment A, s'élève, le flotteur F ouvre le clapet K, de sorte que l'eau accumulée passe de A en B. L'eau sort finalement par l'ouverture S, pour être enlevée par une pompe à eaux ammoniacales. Si cette pompe est endommagée, on peut faire sortir ces eaux dans le condenseur.

Gaz ammoniacaux. — L'ammoniac dégagé par les jus en ébullition vient s'accumuler en partie dans la région supérieure des espaces in-

tertubulaires des 2^e et 3^e caisses et en partie dans la région inférieure où elle se mélange aux gaz lourds.

On sait que l'ammoniac mélangé à une certaine quantité d'air, a la propriété d'attaquer le cuivre en formant de l'oxyde cupro-ammonique Cu O, 4 Az H_3 . Pour enlever ce gaz, on perce dans la plaque tubulaire supérieure quelques trous dans lesquels on fixe de petits tubes se réunissant en un seul tuyau qui sort de la caisse et se rend au condenseur. Par ce système, les gaz sont aspirés au condenseur et les tubes sont beaucoup moins attaqués. Un robinet placé sur ce tuyau à l'extérieur et tout près de la calandre, sert à régler l'aspiration des vapeurs ammoniacales.

La plupart des chauffages tubulaires dans lesquels on utilise de la vapeur de jus sont maintenant munis de ce dispositif, et cette purge de gaz par le haut est souvent, mais à tort, la seule que l'on pratique. Rillieux attachait une grande importance à l'enlèvement de l'air qui, d'après lui, devait s'accumuler à la partie inférieure de l'espace intertubulaire, au-dessus de la couche d'eau condensée.

Quoi qu'il en soit, il est un fait certain, c'est qu'une purge de gaz faite par le haut donne de bons résultats.

On a cherché à capter cet ammoniac par des appareils d'absorption intercalés dans les conduites de vapeur de jus et contenant comme matière absorbante de l'acide sulfurique, ou de l'acide sulfureux, ou de l'alun de potassium, la vente du sel ammoniacal devait couvrir les frais de ce travail. Mais ces procédés n'ont pas été sanctionnés par la pratique, parce qu'ils ne procurent aucun bénéfice, la quantité d'ammoniac n'étant que de 10 à 20 gr. par 1.000 k. de betteraves. Ce procédé permettait simplement d'éviter les corrosions. Quand l'ammoniac est combiné à de l'acide carbonique, par exemple dans le cas de carbonatations poussées trop loin, ce sel peut parfois boucher des tuyaux de petit diamètre.

Par suite du mouvement très vif qui règne dans l'espace intertubulaire, il ne se produit pas une séparation notable entre le gaz et la vapeur, comme l'a démontré F. Dupont en 1883. Mais il y a des endroits où le mouvement est faible, et c'est là que les gaz sont repoussés.

La pratique a montré que dans les appareils verticaux, les tubes en laiton ne sont corrodés qu'à la partie supérieure, et on en a conclu avec raison que les gaz s'accumulent à la partie supérieure. C'est donc sur la plaque tubulaire supérieure qu'il faut placer les tubes d'aspiration, de préférence du côté opposé à l'entrée de la vapeur, et aux endroits où l'on remarque des érosions. Ces tubes d'aspiration ne doivent pas plonger dans la chambre de vapeur, mais ils doivent s'arrêter bien à fleur de la plaque, sinon il y aurait en dessous de celle-ci

un espace dans lequel les gaz ne seraient pas enlevés. Pour éviter des érosions à la partie supérieure des tubes, on recommande de recouvrir cette partie d'un vernis résistant ou de la protéger par un moyen quelconque.

Il n'est pas possible d'enlever l'ammoniac sans enlever en même temps une notable proportion de vapeur d'eau, et l'expérience seule peut indiquer la quantité de vapeur qu'il faut aspirer. Il est préférable d'en aspirer un peu trop que trop peu, car la perte d'un peu de vapeur est moins nuisible que de fortes corrosions aux tubes et une diminution de la capacité productive de l'appareil. Il faut surtout bien régler l'extraction des gaz légers des tambours tubulaires des 1^{re} et 2^e caisses où la vapeur a la plus grande valeur, tandis que dans les derniers corps, où la vapeur est à très basse tension, et a déjà produit plusieurs effets dynamique et calorifiques, on peut sans scrupule, pour enlever les gaz, aspirer la vapeur par des valves d'assez grande ouverture. Les valves de soutirage des premiers corps ne doivent pas avoir plus de 5-10 mm. de diamètre, sinon, il faut les fermer proportionnellement à leur diamètre ou intercaler dans les tuyaux de soutirage des disques de 5-10 mm. d'orifice ; au contraire, les valves d'aspiration des derniers corps doivent avoir 25-30 mm. et être ouvertes au moins à moitié. Pour restreindre les pertes de chaleur qu'entraîne cette purge de gaz, on envoie les vapeurs, qui contiennent à

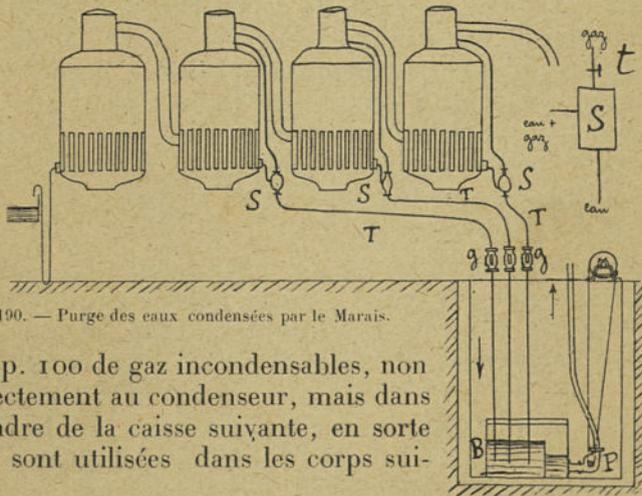


Fig.190. — Purge des eaux condensées par le Marais.

peine 1 p. 100 de gaz incondensables, non pas directement au condenseur, mais dans la calandre de la caisse suivante, en sorte qu'elles sont utilisées dans les corps suivants.

Marais. — (Sumpl, Swamp).

Quand, au lieu d'un triple effet, on emploie un quadruple ou un quintuple effet, et qu'on fait en outre des chauffages à effets multiples, comme nous l'expliquerons dans la suite, il faudrait un grand nombre

de pompes à eaux ammoniacales, ce qui compliquerait beaucoup les montages. Pour éviter cela, on emploie le *Marais*.

Dans un puits se trouve une bêche B placée à 8 ou 9 m. en contrebas des appareils (Fig. 190).

Les espaces intertubulaires des appareils se trouvent en communication par des tuyaux T avec cette bêche. Sur ces tuyaux, immédiatement à la sortie de l'appareil, on installe des boîtes séparatrices S formées par une bouteille en métal dans laquelle vient par E le mélange d'eau, de gaz lourds et de gaz légers entraînés par l'eau. Sur cette boîte se trouve un petit tuyau à robinet *t*, allant à la calandre de la caisse suivante du multiple effet ou au condenseur. Les gaz sont aspirés tandis que l'eau descend dans le tube. Vers la partie inférieure de chaque tube, en un endroit bien accessible, le tube présente un renflement portant une glace *g* qui sert de regard pour contrôler si les écoulements se font bien et les régler au besoin.

L'eau de la bêche du Marais est extraite par une pompe unique à action directe réglée par un flotteur placé dans la bêche. Cette eau est reprise pour le lavage des écumes et l'alimentation des générateurs. Le seul inconvénient de ces eaux est que l'ammoniac attaque les armatures en bronze des générateurs. Mais quand les purges de gaz ammoniacaux sont bien faites, et qu'on emploie ces eaux en même temps que celles de la 1^{re} caisse, elles n'occasionnent aucun ennui. L'inconvénient du marais est qu'il faut de nouveau remonter les eaux pour les réemployer et qu'il faut pour cela une pompe installée dans le puits où elle est difficilement accessible et où on ne peut la surveiller convenablement.

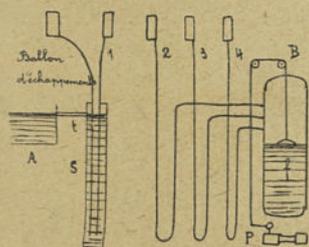


Fig. 191. — Purge par siphons.

(Fig. 191).

L'avantage des siphons est de pouvoir indifféremment fonctionner avec une légère pression ou une légère dépression. Avec le marais, s'il se produit dans les espaces intertubulaires une légère pression supérieure à la contre-pression de l'eau dans la bêche, il se produit immédiatement une perte de vapeur.

On fait quelquefois passer l'eau de condensation d'une caisse dans l'autre au moyen de siphons qui mettent en communication les tam-

bours tubulaires à leur partie inférieure et dont les branches sont assez longues pour équilibrer la différence de vide existant entre chaque caisse (3-4 m. d'eau).

Sur chaque siphon on place une boîte ou bouteille séparatrice pour l'enlèvement des gaz avec lunettes pour le contrôle du fonctionnement des purges. Ce système donne une certaine économie de vapeur et permet de n'employer qu'une seule pompe pour l'extraction des retours, mais elle diminue légèrement la capacité productive de l'appareil et il est nécessaire de donner à ces siphons des diamètres augmentant de la 1^{re} à la dernière caisse (Fig. 192).

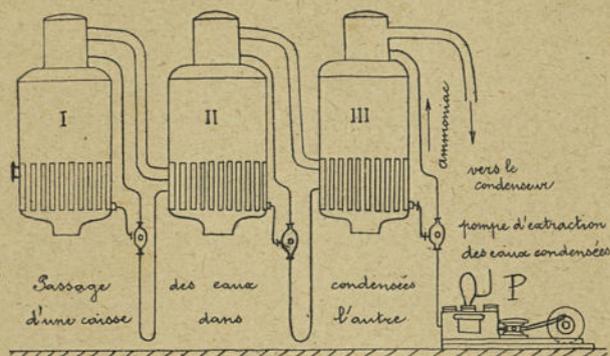


Fig. 192. — Passage des eaux condensées dans les caisses suivantes.

Mise en marche et fonctionnement du multiple effet.

Avant la campagne, il faut s'assurer de l'étanchéité des tubes de chauffage et des mandrinages dans les plaques tubulaires. Pour cela, on fait une épreuve hydraulique au moyen de la pression de l'eau du réservoir en charge qui atteint toujours une atmosphère ; quant aux caisses qui fonctionnent sous pression, on les essaie au moyen de la pompe à une pression supérieure à la plus forte pression à supporter.

On commence d'abord par fermer tous les tuyaux d'évacuation des eaux condensées et par ouvrir en plein les robinets des tuyaux d'enlèvement de l'ammoniac, puis on fait marcher la pompe à air pour faire le vide le plus grand possible dans l'appareil. On s'assure alors qu'il n'y a aucune fuite en approchant une bougie allumée de tous les endroits où il peut y en avoir et en observant l'aiguille du manomètre à vide ou *vacuomètre* ; puis on fait arriver du jus dans les caisses en ouvrant les robinets d'alimentation. On ouvre ensuite le robinet purgeur qui se trouve au bas de l'espace intertubulaire de la 1^{re} caisse, puis on fait arriver la vapeur en ouvrant doucement la soupape pour éviter les claquements.

Le jus entre bientôt en ébullition et un vide normal s'établit dans chaque caisse. On règle alors tous les robinets (ou valves), pour effectuer l'alimentation, le passage des jus d'une caisse dans l'autre et l'extraction du sirop. On fait également fonctionner les pompes à eaux condensées (ammoniacales) ou le tuyautage du marais.

Purgeur automatique ancien. — Il se compose d'un vase cylindrique en fonte A muni d'un orifice latéral C et fermé par un couvercle en fonte avec orifice D et robinet d'air. A l'intérieur de ce vase, l'orifice D se prolonge par un tube en bronze débouchant à 0 m. 05 environ du fond par un orifice D ; un vase intérieur en cuivre B peut monter ou descendre le long de ce tube sur lequel il est guidé par deux bagues portées chacune par trois bras. Ce seau intérieur est convenablement lesté par une rondelle qu'il porte en dessous du tube (Fig. 193).

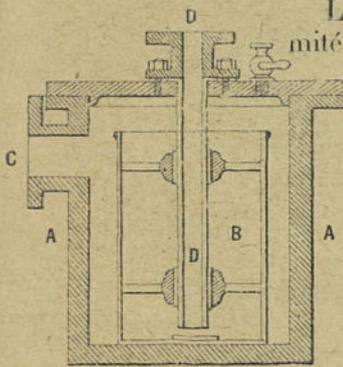


Fig. 193. — Purgeur automatique

L'orifice C est relié directement à l'extrémité de purge du serpentin de chauffe. L'orifice D est muni d'un tuyau destiné à l'évacuation de l'eau condensée. Le petit robinet sert à chasser l'air à la mise en train. L'eau condensée se déverse dans l'espace annulaire qui existe entre le vase A et le vase B et, soulevant ce dernier, en applique fortement le fond sur l'orifice D. Dans ces conditions, si l'eau de condensation est mélangée de vapeur, celle-ci remplit l'appareil, mais ne peut s'échapper au dehors puisque l'orifice D est obstrué. Mais l'eau de condensation continuant à arriver finit par déborder dans le seau mobile B, et il arrive un moment où le poids de l'eau contenue dans ce vase, ajouté au poids du seau, suffit pour vaincre la poussée extérieure. A ce moment, le vase B descend et débouche l'orifice D. La pression de la vapeur chasse alors au dehors l'eau contenue dans le vase B jusqu'au moment où la poussée extérieure viendra de nouveau le soulever en refermant l'orifice D, ce qui arrivera avant que ce vase B soit complètement vidé, c'est-à-dire avant que la vapeur puisse s'échapper. Il est donc certain que cet appareil ne pourra donner passage à la vapeur directe. L'eau de condensation sera évacuée par intermittence.

Purgeur automatique Schneider et Helmecke (Schwimmer Topf, Steam Trap)

Un flotteur F agit par un levier *l* sur un axe *aa* portant deux valves coniques solidaires *vv* qui font communiquer le réservoir R avec la tubulure T. Cet axe est guidé à ses deux extrémités par des douilles *dd* et porte une vis V très courte et à très grand pas passant dans un

manchon taraudé M qui est fixe. L'eau soulève le flotteur, qui, en faisant tourner la vis V ouvre les 2 valves et donne issue à l'eau. Un

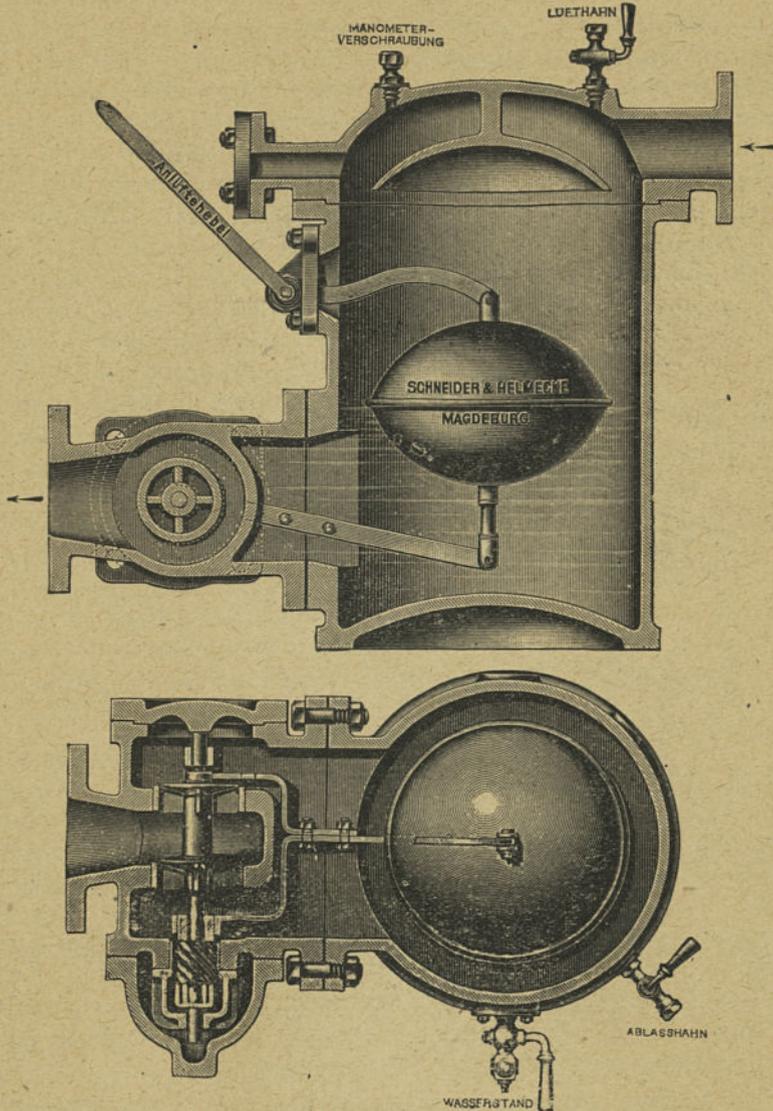


Fig. 194 — Purgeur automatique.

levier supplémentaire L permet de soulever commodément le flotteur dans le cas où l'appareil ne fonctionnerait pas bien (Fig. 194).

Pompes pour l'extraction des sirops ou des eaux ammoniacales

Sur le parcours du tuyau d'aspiration, on intercale une boîte en

fonte S portant deux tubulures, l'une porte un robinet pour l'enlèvement des vapeurs ammoniacales entraînées avec les eaux de retour, vapeurs envoyées dans le vase de sûreté de la caisse ; deux glaces rondes placés vis-à-vis permettent de surveiller l'évacuation des eaux (Fig. 195).

On emploie aussi des pompes avec clapet d'aspiration *commandés*, c'est-à-dire soulevés automatiquement par un excentrique.

Pompe à clapets multiples échelonnés de Bontemps. — Pour l'aspiration au-delà de 7 mètres ou l'aspiration d'un liquide contenu dans un vase sous un vide dépassant 37 cm. de mercure, on ne peut employer une pompe ordinaire à faible course : le poids des clapets s'ajoutant à l'influence de la colonne de liquide ou du vide, le rendement volumétrique peut tomber à 0 (la pompe se désamorce).

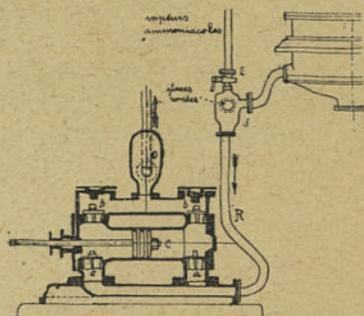


Fig. 195. — Pompe d'extraction à piston.

Bontemps se sert dans ce but d'une pompe à longue course et à clapets multiples échelonnés (5 à l'aspiration et 5 au refoulement). De cette façon, on atténue le poids des clapets d'aspiration en les multipliant : les clapets se levant successivement à mesure que le piston parcourt le cylindre. En outre, on obtient une section d'aspiration en clapets proportionnelle à la vitesse du piston (qui part de zéro aux points morts pour atteindre sa plus grande valeur au milieu de la course).

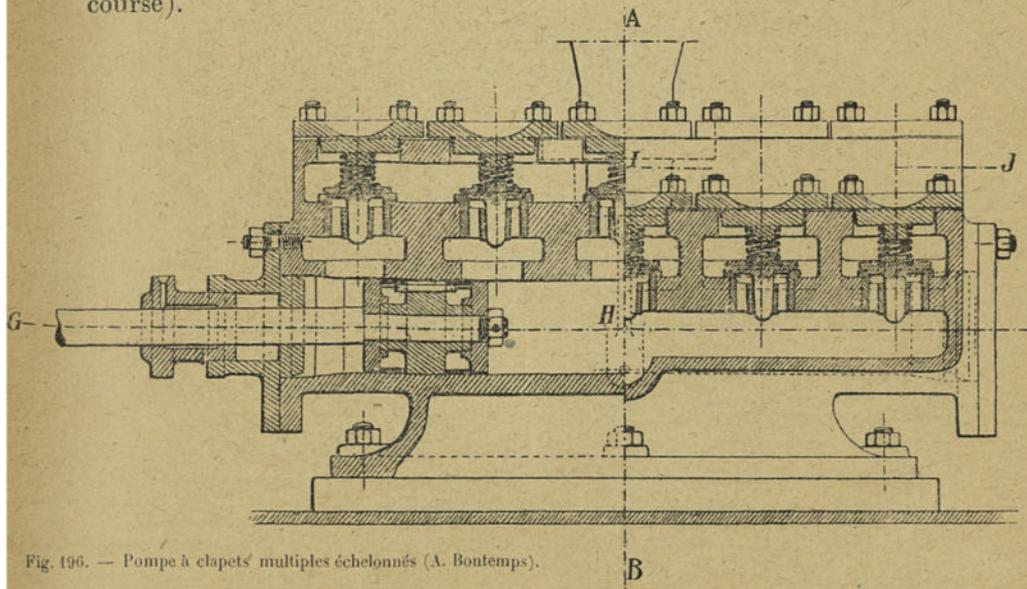


Fig. 196. — Pompe à clapets multiples échelonnés (A. Bontemps).

Enfin on supprime les martelages des clapets dont la fermeture s'opère proportionnellement au débit sur le parcours du piston (Fig. 196).

Les pompes ci-dessus ne peuvent fonctionner que si le corps est installé 3-4 mètres au-dessus de la pompe et que la conduite d'aspiration soit remplie d'eau. Généralement, la pompe ne commencera à aspirer l'eau que lorsqu'il y aura dans le corps une assez grande quantité d'eau et que celle-ci soit refroidie, d'où diminution de l'effet utile de la surface de chauffe.

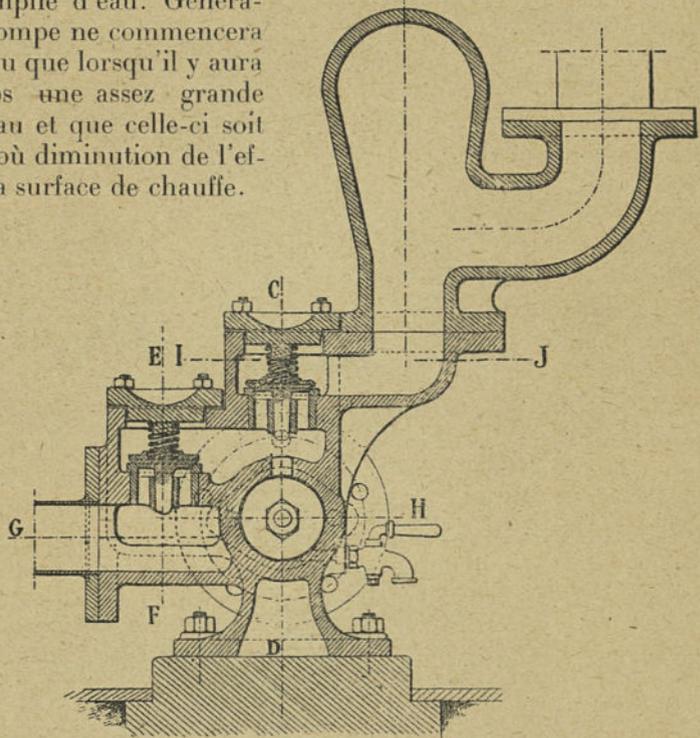


Fig. 197. — Pompe Bontemps.

Pompe Duflos. — Dans la pompe Duflos, on fait communiquer directement une des extrémités du corps de pompe P avec un récipient clos placé en contre-bas de l'appareil à vide et relié à celui-ci par des conduits ce faisant communiquer le haut et le bas du récipient avec le haut et le bas de la caisse du triple-effet. Le fond externe du corps de pompe P communique avec une boîte à clapet de refoulement R et avec une boîte à clapet d'aspiration A. Le récipient porte à sa partie inférieure une tubulure t pour l'arrivée du liquide et l'autre t' reliant le récipient K avec la boîte à clapets d'aspiration A. Le piston allant à gauche, le liquide du récipient est aspiré à travers la tubulure et la boîte à clapet d'aspiration, le même vide existant d'un côté comme de l'autre, le piston n'éprouve dans sa course d'autres résistances que celles qui proviennent du frottement et du poids des clapets d'aspira-

tion qui est très faible, ces clapets étant en ébonite. Le piston allant à droite, il y a refoulement (Fig. 198).

Emploi des pompes centrifuges. — La maison Wauquier a remplacé les pompes à piston pour l'extraction des eaux condensées des caisses de multiple effet ou du condenseur, par des pompes centrifuges P. (Fig. 199). Dans ce but, une des coquilles CC est munie d'un ajutage A débouchant dans l'ouïe même O de la turbine, et raccordé à l'extérieur à un robinet R mis en communication

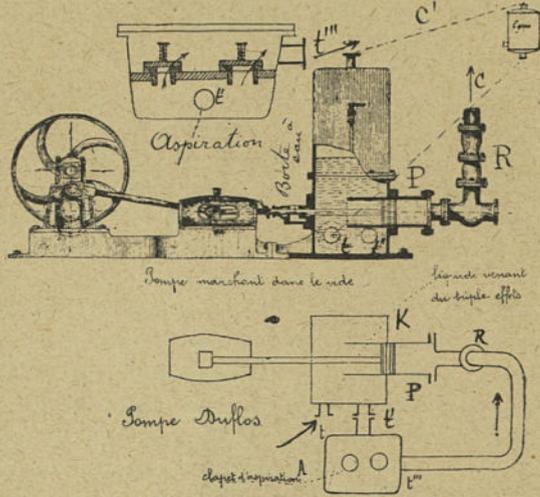


Fig. 198. — Pompe Duflos (Daw à Lille)

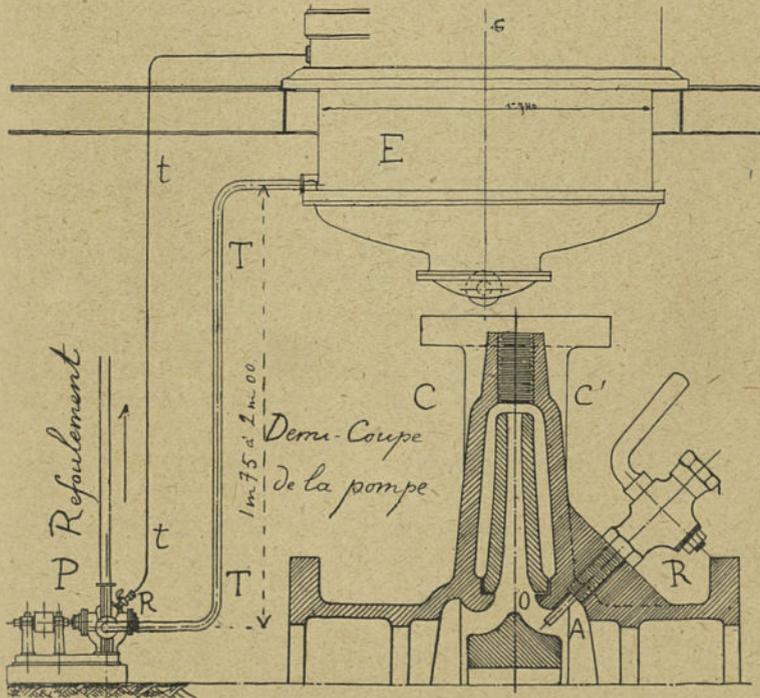


Fig. 199. — Extraction des eaux condensées par pompe centrifuge (Wauquier et Co).

par un tuyau *tt*, avec la partie haute de l'espace dont on extrait les eaux condensées par *TT*.

La pompe doit être installée avec 1 m. 75 à 2 m. environ de charge sur la tubulure d'aspiration de la pompe.

Retour direct (Directes Rückleiten). — Il y a deux raisons qui militent en faveur du retour direct au générateur (*directes Rückleiten*) des eaux condensées : 1° Cette eau a généralement une température si élevée qu'il est impossible de refouler au générateur sans que leur température s'abaisse, et ce refroidissement diminue d'autant l'économie de combustible ; 2° Cette eau de condensation est de l'eau distillée ; quand elle constitue une fraction suffisante de l'eau alimentaire, elle empêche la formation d'incrustations et on sait qu'une couche de 1 mm. de celle-ci fait tomber l'évaporation de 8 k. à 6 k 1/2 par kilo de houille. Il est donc très important de faire rentrer l'eau dans le générateur à haute température. Mais pour cela il faut un appareil simple complètement automatique, n'exigeant aucun réglage, robuste et ne se dérangeant pas par des accumulations d'air. Il faut exclure les boîtes à calfat qui amènent des frottements qui rendent impossible leur bon fonctionnement. Un flotteur ouvert est préférable à des flotteurs fermés. De même pour l'entrée de la vapeur de refoulement, un tiroir de distribution vaut mieux qu'une soupape.

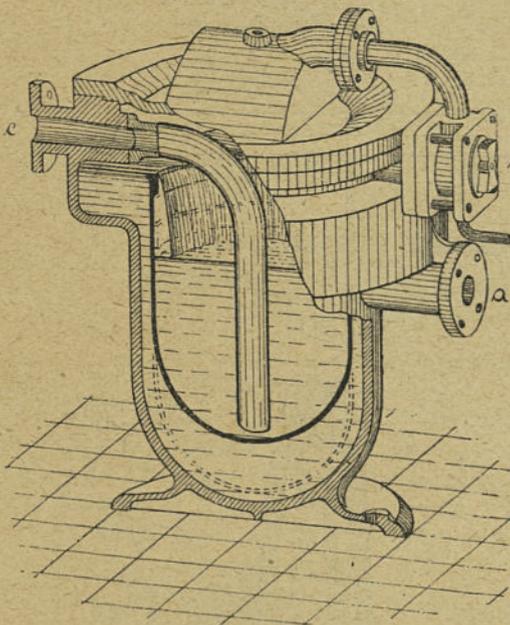


Fig. 200. — Purgeur automatique pour retour direct, (H. KrantzAachen).

Automate à retour direct de Krantz. — Il comprend un flotteur ouvert relié par une traverse et une tige verticale plate à une fourche calée sur un axe horizontal et munie d'un contre-poids qui équilibre le poids du flotteur et le maintient dans sa position la plus élevée. L'axe horizontal est relié à un tiroir qui commande l'arrivée de la vapeur vive (Fig. 200).

L'eau de condensation entre dans l'appareil et emplit le flotteur, quand celui-ci est presque plein, le flotteur descend par son propre poids et ouvre l'entrée de vapeur ; celle-ci chasse l'eau dans le géné-

rateur. Le flotteur plein d'eau est maintenu dans sa position, basse par le contre-poids qui tout à l'heure le maintenait dans sa position élevée.

Lorsque le flotteur est presque vide, la poussée qu'il subit le fait remonter vivement à la partie supérieure ; il ferme le tiroir à vapeur et ouvre l'échappement.

Purgeur automatique aspirant et refoulant automatique Fr. Michaelis. — Cet appareil est destiné principalement à extraire les eaux condensées des corps de chauffage (généralement espaces intertubulaires) dans lesquels existe un vide relatif ; il sert aussi pour retirer tout autre liquide d'un corps où règne un certain vide ou une certaine pression et pour le refouler (Fig. 201).

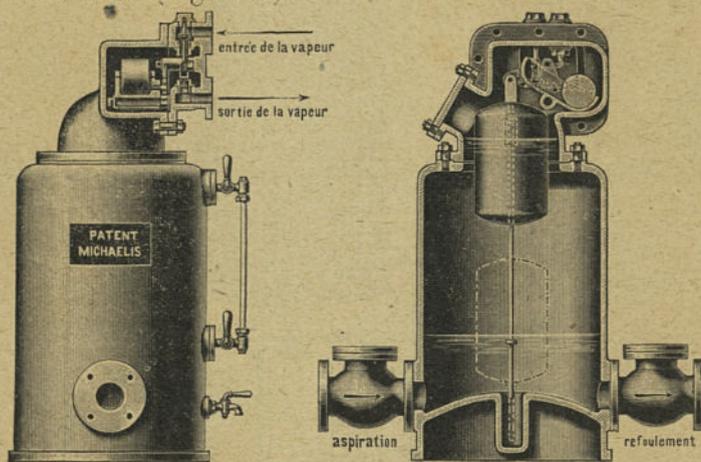


Fig. 201. — Automate à retour direct (Schneider et Helmecke).

Il comprend un flotteur en combinaison avec un contre-poids qui ouvre et ferme alternativement deux soupapes dont l'une sert pour l'entrée et l'autre pour la sortie de la vapeur. La soupape d'entrée de vapeur est en communication avec la tuyauterie de vapeur de retour ou de vapeur vive ; la soupape de sortie communique avec le corps qui est à vider ou avec un corps dans lequel il y a un vide plus élevé. Quand le corps du purgeur est vide, la soupape de sortie est ouverte, de sorte qu'il y a équilibre de pression entre le purgeur et le corps de chauffage, et l'eau peut facilement couler par différence de niveau, à travers une soupape de retenue, dans le purgeur qui se trouve environ 2 mètres en dessous. La température de l'eau condensée et l'intensité du vide sont, comme dans le monte-jus, sans influence sur le fonctionnement de l'appareil.

Aussitôt que le corps du purgeur est rempli, le flotteur en combinaison avec le contre-poids change brusquement la position des soupapes à vapeur, la vapeur peut entrer et par sa pression l'eau est refoulée par l'autre soupape de retenue. La vapeur prise pour le

refoulement est utilisée immédiatement comme vapeur de chauffage.

Cet appareil peut être utilisé dans les cas suivants : 1° En prenant de la vapeur de retour à 0 k. 5 pour l'évacuation de l'eau condensée, on peut la chasser dans un réservoir placé au même niveau que le purgeur ; 2° En prenant de la vapeur à haute tension, on peut refouler les eaux condensées dans un réservoir placé à une hauteur quelconque

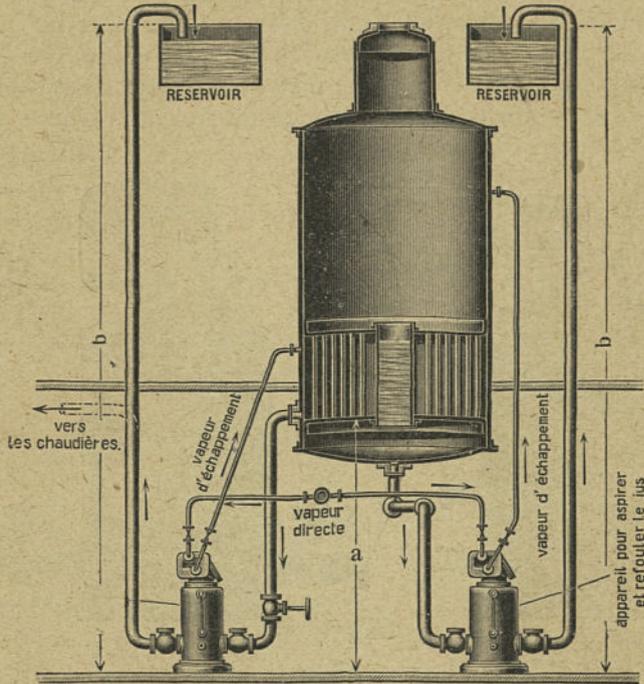


Fig. 202. — Montage de l'automate Michaelis (Walcher, Bruxelles).

au-dessus du purgeur (fig. 202 à gauche). Quand on a une batterie de générateurs scindée en haute et basse pression, on peut employer la vapeur à haute pression pour refouler les eaux condensées dans les chaudières à basse pression (fig. 202 à gauche). Il remplace les pompes pour l'extraction des jus ou sirops de l'appareil d'évaporation et pour les refouler dans un réservoir placé à une hauteur quelconque au-dessus du purgeur (fig. 202 à droite) ; 5° Pour faire le retour direct dans le générateur qui a produit la vapeur, dans le cas où l'eau peut couler directement par pente du corps de chauffage dans le purgeur établi *au-dessus* du générateur ; 6° Pour faire le retour direct en refoulant les eaux par un premier appareil placé en bas des générateurs dans un deuxième appareil placé au-dessus des générateurs, comme le représente la figure 203. Celle-ci montre aussi en traits pointillés le retour direct au moyen de vapeur provenant d'une batterie à plus haute pression.

Théorie des appareils à effets multiples. — Considérons une paroi à 2 faces parallèles AB et A'B' séparant 2 enceintes maintenues res-

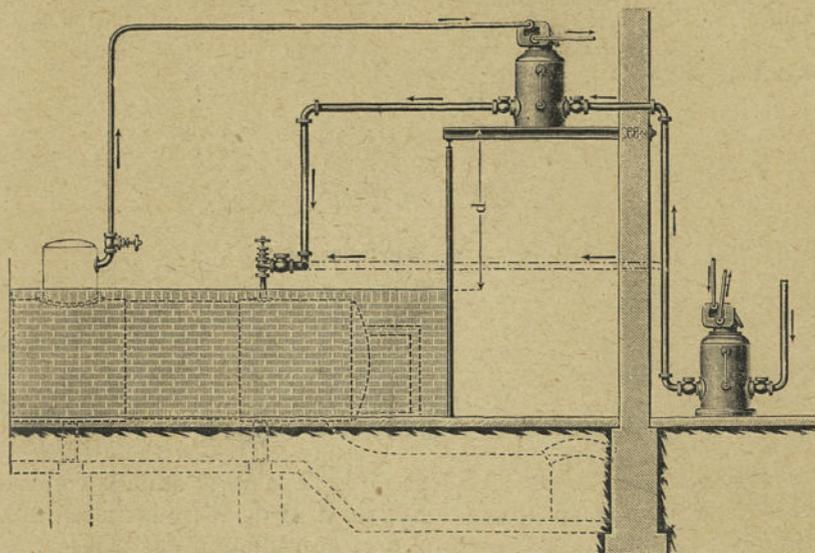


Fig. 203. — Retour direct des eaux condensées au générateur par vapeur à haute pression ou par vapeur ordinaire et deux purgeurs Michaelis (Schneider et Helmecke).

pectivement aux températures T et θ ; appelons e et C l'épaisseur et le coefficient de conduction de la paroi (Fig. 204).

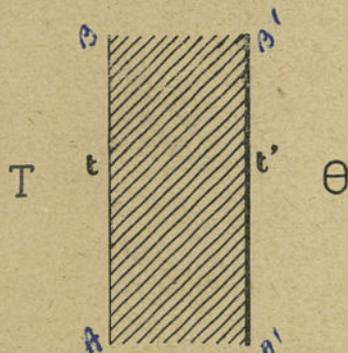


Fig. 204. — Transmission de la chaleur.

Lorsque le régime est établi, c'est-à-dire lorsque la chaleur reçue par la face AB est égale à celle émise par la face A'B', chaque tranche parallèle aux faces extrêmes laisse passer cette même quantité de chaleur et la température reste invariable et uniforme dans chaque tranche, mais différente d'une tranche à l'autre.

Soient M la quantité de chaleur transmise dans le temps x , t et t' les températures inconnues des 2 faces AB et A'B'.

La face AB recevant la quantité de chaleur M , si on appelle k le coefficient de transmission de l'enceinte à cette face, on a $M = SK(T-t)x$ C'est la formule de Newton.

La même quantité de chaleur M traversant la paroi de la face AB à la face A'B' la transmission par conduction donne $M = S \times \frac{C}{e}(t - t')x$. C étant le coefficient de conduction du métal et e l'épaisseur de la

paroi. D'après Wiedermann et Franz, $C=362$ pour le cuivre, 116 pour le laiton, 59 pour le fer.

Enfin pour la transmission de la face A'B' à l'enceinte extérieure, en désignant par K' le coefficient de transmission, on a : $M = SK'(t' - \theta) x$.

$$\text{On peut écrire : } M \times \frac{1}{K} = S(T - t) x$$

$$M \times \frac{e}{C} = S(t - t') x$$

$$M \times \frac{1}{K'} = S(t' - \theta) x$$

En additionnant membre à membre, on a :

$$M \left(\frac{1}{K} + \frac{e}{C} + \frac{1}{K'} \right) = S(T - \theta) x.$$

Posons pour simplifier $\frac{1}{K} + \frac{e}{C} + \frac{1}{K'} = \frac{1}{Q}$ nous aurons :

$$\frac{M}{Q} = S(T - \theta) x \quad \text{d'où } M = S Q (T - \theta) x.$$

Q est donc un coefficient qui dépend de l'épaisseur et de la conductibilité de la paroi et en même temps de K et de K' , dépendant eux-mêmes des coefficients de convection et de radiation des 2 faces.

Si dans cette formule, nous faisons $x = 1$, $S = 1$ et $(T - \theta) = 1$, nous aurons :

$$Q = \frac{M}{S(T - \theta)} = M.$$

Q est donc le nombre de calories transmises par heure, par mq et par degré de chute de température.

$T - \theta$ est la chute totale. $T - t$, $t - t'$ et $t' - \theta$ sont les trois chutes partielles. On a :

$$S K (T - t) x = S \frac{C}{e} (t - t') x = S K' (t' - \theta) x.$$

$$\text{d'où : } \frac{T - t}{t - t'} = \frac{C}{K}; \quad \frac{t - t'}{t' - \theta} = \frac{K}{C}; \quad \frac{T - t}{t' - \theta} = \frac{K'}{K}$$

Donc les températures T et θ étant données les chutes partielles s'établissent en raison inverse des coefficients de transmission ; on peut donc représenter les chutes par les inverses de ces coefficients, et en écrivant que la chute totale est le total des 3 chutes partielles, on a directement la relation.

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{K} + \frac{e}{C} + \frac{1}{K'}$$

établie ci-dessus. On peut l'écrire

$$\frac{10.000}{Q} = \frac{10.000}{K} + \frac{10.000 \times e}{C} + \frac{10.000}{K'}$$

En pratique $\frac{10.000}{K}$ varie de 0,2 à 1, moyenne 0,6

$\frac{10.000 \times e}{C}$ pour une épaisseur $e = 0^{\text{mm}}001$ donne pour le laiton dont

$C = 116$, $\frac{10.000 \times e}{C} = 0,34$ et pour le cuivre dont $C = 362$,

$$\frac{10.000 \times e}{C} = 0,11$$

Enfin $\frac{10.000}{K'}$ varie de 1,66 à 20, moyenne 11.

Étudions l'influence de ces trois facteurs :

1° *Transmission de la chaleur à la surface.* — Lorsque la vapeur se condense, elle laisse sur la surface du tube une couche d'eau qui s'écoule *lentement* par suite de la capillarité. En pesant un tube sec et un tube humide, on trouve une différence prouvant qu'il reste une épaisseur d'eau de $0^{\text{mm}}2$ sur la paroi. C'est sur cette couche d'eau que la vapeur se condense et non sur le métal lui-même. Or, d'après Cauchy l'eau est 162 fois moins bonne conductrice que le laiton. Il faut donc enlever l'eau condensée le plus rapidement possible, et la vapeur ne doit jamais contrarier l'écoulement de cette eau ; il faut donc toujours quand c'est possible faire circuler la vapeur de haut en bas. Si l'eau de condensation est rapidement enlevée, la rapidité de l'absorption de la chaleur par la surface devient pratiquement illimitée. Elle augmente avec la rapidité avec laquelle la vapeur se déplace le long de la paroi. Elle augmente aussi quand la surface est bien polie et que l'eau la mouille facilement, par conséquent qu'elle ne charrie pas d'huile. On remarque que les appareils neufs donnent de moins bons résultats jusqu'à ce que la surface des tubes soit décapée ;

2° *Conduction à travers la paroi.* — Nous voyons immédiatement que $\frac{10.000 \times e}{C}$ est le plus faible des 3 facteurs. La conductibilité et

l'épaisseur de la paroi n'ont donc pas une grande influence quand il s'agit de parois métalliques travaillant dans les conditions d'évaporation, les coefficients de conductibilité des métaux variant peu. Aussi les parois en fer sont-elles maintenant très employées. Le seul inconvénient du fer consiste dans l'oxydation qu'il subit rapidement aussitôt qu'on arrête l'appareil ; pour les chauffages de sucrerie notamment les tubes en fer sont, au bout de fort peu de temps, si on n'y prend garde, perforés et perdus, tandis que les tubes en cuivre ou en laiton n'éprouvent rien de semblable.

Même pendant la marche de l'appareil, les tubes en fer se recouvrent d'une légère couche de rouille qui abaisse le coefficient de transmission.

Les incrustations, qui sont 40 fois moins conductrices que le laiton et même 80 fois moins quand cette incrustation est siliceuse, sont une *autre cause* importante de retard de la transmission ; il faut donc les éviter avec soin et les enlever très souvent. Ceci confirme à nouveau le peu d'importance de la nature du métal. (Voir plus loin).

3° *Transmission de la paroi au liquide.* — On voit que $\frac{10^4}{K'}$ est le plus fort des coefficients au point qu'on peut souvent négliger les deux autres et écrire $\frac{1}{Q} = \frac{1}{K'}$ d'où $Q=K'$ et ne s'occuper que de la rapidité de la transmission de la chaleur de la paroi au liquide. C'est donc là qu'est le coefficient de transmission le plus faible et là que réside la difficulté.

Ainsi, tandis que la *chute nécessaire* du côté de la vapeur varie de 0,2 à 1 (rapport 1 à 5), du côté du liquide cette chute nécessaire varie de 1,66 à 20 (rapport 1 à 12). Par suite, une chute totale de 21°10 pourrait être répartie ainsi : 1 + 0,10 + 20, et la transmission de la chaleur de la paroi au liquide absorberait en chiffres ronds, 20 fois plus de chute que les 2 autres stades de la transmission (1).

La rapidité du chauffage dépend beaucoup de la rapidité de la réception du calorique par le liquide. Pour que cette réception se fasse rapidement, il faut que le liquide circule avec une grande vitesse au contact des parois chauffantes.

Les liquides stagnants, agissant par conductibilité, reçoivent mal la chaleur. Pécelet a trouvé que le liquide devait être renouvelé 1600 fois par minute pour qu'on parvienne à lui incorporer les calories correspondant au pouvoir transmissif du métal.

Si nous posons comme ci-dessus $\frac{1}{Q} = \frac{1}{K'}$ nous aurons pour

$$\frac{10.000}{K'} = 20 \quad Q = K' = \frac{10.000}{20} = 500 \text{ et pour } \frac{10.000}{K'} = 1,66,$$

$$Q = K' \frac{10.000}{1,66} = 6000. \quad Q \text{ varie donc de } 500 \text{ à } 6000 \text{ calories.}$$

D'expériences de Pécelet il résulte que pour le chauffage de l'eau, le coefficient de transmission a varié de 500 à 4000 calories rien qu'en faisant varier la vitesse de 0 à 1 m. 10. On voit donc l'importance qu'il y a à donner du mouvement au liquide.

(1) Les termes $\frac{1}{K}$, $\frac{1}{K}$, etc., peuvent aussi être appelés *résistance à la transmission*. Dans le cas des générateurs ordinaires, on a approximativement $K = 10^4$ à $20 \frac{C}{e} = 6.000$ et $K' = 1.200$ pour l'eau froide et en repos, d'où $\frac{1}{Q} = \frac{1}{20} + \frac{1}{6.000} + \frac{1}{1.200}$. Les deux derniers termes sont négligeables par rapport au premier, — résistance à la transmission de la chaleur des gaz à la tôle.

Coefficients pratiques (Praktische Wärmeübertragungs coefficiente)

Il est impossible de calculer à priori quels seraient les coefficients de transmission, dans un cas donné ; il faut adopter des chiffres fournis par l'expérience en tenant compte de tous les facteurs qui entrent en jeu dans la transmission de la chaleur.

Avec un serpentín chauffant de l'eau en *ébullition* on peut compter 5000 calories par mètre carré, par heure et par degré de chute. La vitesse de la vapeur est très grande dans le serpentín et l'eau condensée est rapidement entraînée si le trajet n'est pas trop long ; en outre l'eau en ébullition se renouvelle rapidement au contact de la surface. Si l'on remplace le serpentín par le double fond, le coefficient descend entre 2500 et 1700 calories. Si l'eau ne bout pas, auquel cas elle se renouvelle mal au contact de la surface de chauffe, le coefficient tombe à 1000 calories même avec un serpentín.

Avec les surfaces tubulaires chauffant de l'eau en ébullition au moyen de vapeur à 2-3 kgs, on compte 2500 à 2000 calories. Avec une caisse de multiple effet vertical dans lequel il y a un mouvement ascensionnel très vif dans les tubes (représentés ici par la branche A chauffée d'un tube U, pendant que le jus descend dans le gros tube central représenté par la branche B), l'Allemand Claassen a trouvé pour les caisses successives 2400, 1800, 1200, 600 calories.

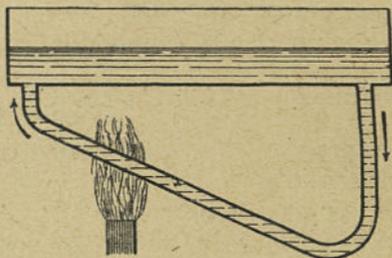


Fig. 205. — Circulation par chauffage

Si le liquide ne bout pas, le coefficient descend entre 600 et 350 calories et tombe même à 300 calories pour les liquides visqueux.

C'est du côté K' (côté du liquide) qu'il faut surtout rechercher la cause de cet abaissement du coefficient de transmission dans les dernières caisses d'un multiple effet. Même dans le cas d'un multiple effet évaporant de l'eau, il faudra pour transmettre la même quantité de chaleur un temps d'autant plus long que l'espace que prend l'unité de poids de vapeur est plus grand, par conséquent que la pression sous laquelle la vapeur se développe est plus faible.

A	100°	1	kilog de vapeur à la tension de 760	occupe	1700	litres
A	70°		vide 53 mm. tension de 707	5000	litres
A	54°		vide 65 mm. tension de 695	10000	litres

Dans un multiple effet de sucrerie d'autres causes contribuent à cet abaissement de K' : 1° La densité plus grande du sirop et sa viscosité qui diminuent sa mobilité ; 2° L'abaissement de la chaleur spécifique et par suite des coefficients de conductibilité qui diffèrent peu des chaleurs spécifiques.

Chaleur spécifique de l'eau	1.0
Chaleur spécifique d'un sirop à 120 k. 5 par hl.	0.7
» » d'un sirop à 134 k. 2.....	0.6

Pour un quadruple effet on aurait à peu près pour les chaleurs spécifiques les chiffres suivants : 1,0, 0,9, 0,8, 0,7.

On adopte assez souvent les coefficients suivants pour les différentes caisses : 1500, 1350, 1200, 1050 calories.

Avec les nouveaux évaporateurs Kestner on arrive à un coefficient de 6000 calories pour le premier corps. C'est le double du plus fort coefficient trouvé par Claassen (3000 cal.) et le quadruple de celui que nous indiquons ci-dessus.

Energie de la vapeur d'eau

La quantité de chaleur absorbée ou cédée par un corps dans une transformation élémentaire a pour expression $dQ = dU + A p dv$. U = chaleur interne, $A p dv$ chaleur interne. Pour un liquide on peut négliger $A p dv$ et écrire $dQ = dU$.

Pour porter la température d'une masse d'eau de t à t' ($t' > t$), il faut une quantité de chaleur $q = \int_t^{t'} C dt$, C étant la chaleur spécifique sous pression constante. Cette quantité q est ce qu'on appelle la chaleur sensible.

Pour vaporiser cette eau à t° , il faut de nouveau dépenser une quantité de chaleur $d'Q = dU + A p dv$, mais cette fois $A p dv$ n'est plus négligeable. Si l'on appelle r cette nouvelle quantité de chaleur, ρ la partie interne de celle-ci et u l'excès du volume spécifique V de la vapeur saturée sèche sur le volume du liquide v , on a :

$$r = \rho + A p (V - v) \qquad r = \rho + A p u$$

C'est ce qu'on appelle la chaleur latente de vaporisation.

On a donc : chaleur latente = chaleur latente interne + chaleur latente externe.

Nous avons pour la chaleur totale : $\lambda = q + r = q + \rho + A p u$.

Chaleur totale = chaleur sensible + chaleur latente interne + chaleur latente externe.

Mais la vapeur est généralement humide. Soit x le poids de vapeur réelle contenue dans un kilog de vapeur humide, la quantité réelle de chaleur contenue dans la vapeur humide.

$$\lambda' = q + x r = \int_t^{t'} C dt + x r$$

$$q = t + 0,2 \left(\frac{t}{100} \right)^2 + 0,3 \left(\frac{t}{100} \right)^3$$

$$C = \frac{dq}{dt} = 1 + 0,004 \frac{t}{100} + 0,009 \left(\frac{t}{100} \right)^2$$

Regnault a donné pour la chaleur totale la formule :

$$\lambda = 0,305 + \text{constante} = 606,5 + 0,305 t.$$

Connaissant λ et q , on peut calculer $r = \lambda - q$.

$$r = 600,5 - 0,695 t - 0,2 \left(\frac{t}{100}\right)^2 - 0,3 \left(\frac{t}{100}\right)^3$$

En supposant C constant pendant les écarts de température auxquels on a affaire, on peut écrire :

$$q = \int_t^{t'} C dt = C (t' - t) \text{ d'où } r = \lambda - q = \lambda - C (t' - t)$$

Enfin en négligeant les termes en t^2 et t^3 dans la valeur de q , on peut écrire $q = t$, d'où $r = \lambda - t$. $r = 606,5 - 0,695 t$.

Pour des températures variant entre 0 à 210°, Clausius a donné la formule $r = 606,5 - 0,708 t$. Nous adopterons $r = 606,5 - 0,7 t$.

Pour la production de la force motrice, il y a grand intérêt à employer de la vapeur à haute température et par suite à haute tension, car le rendement théorique des moteurs (cycle maximum de Carnot)

est donné par la formule : $R = \frac{T \cdot T'}{T} = \frac{t \cdot t'}{273+t}$ Pour les chauffages en

général, on peut employer des vapeurs à basse tension car la chaleur latente augmente à mesure que la température diminue et cette chaleur est *pratiquement* la seule utilisable, car l'eau de retour possède la même température que la vapeur dont elle provient. L'emploi de vapeur à haute température étant interdit par les dangers de caramélisation, il semblerait qu'il y ait intérêt à abaisser beaucoup la température des vapeurs de chauffage. Il n'en est cependant pas ainsi, car : 1° le coefficient de transmission s'abaisse beaucoup dans les basses températures ; 2° pour avoir une chute ($t-t'$) suffisante, il faut abaisser t' , d'où dangers de fermentations. Pour ces raisons on ne monte pas à plus de 110 à 115° dans la 1^{re} caisse et on ne descend pas en-dessous de 60-65° dans la dernière.

Cependant, quand le mouvement du liquide est très rapide, la température de la vapeur de chauffage peut atteindre sans inconvénient 135° comme cela a été démontré récemment par l'emploi des évaporateurs P. Kestner.

Entropie. — C'est la fonction $S = \int_T^{T'} \frac{C dt}{T}$ et T' étant les températures absolues.

Répartition de la surface de chauffe dans un multiple effet

Soient s^1, s^2, s^3, s^4 , les surfaces de chauffe des 1^{er}, 2^e, 3^e, 4^e corps d'un quadruple effet : $\alpha\beta\gamma\delta$ les coefficients de transmission de ces corps, T la chute totale, $t^1 t^2 t^3 t^4$ les chutes utiles dans les 1^{er}, 2^e, 3^e, 4^e corps. Soient en outre T_e la température de la vapeur ayant la pression dans le ballon des échappements, T_c la température correspondant au vide dans le condenseur, la chute utile T sera égale à la différence $T = T_e - T_c$ diminuée des pertes de chute de température provenant des différences entre la température du liquide en ébulli-

tion et celle de la vapeur émise. La chute utile est une quantité constante qui est une des données de la question. La quantité de calories transmises par la vapeur d'échappement dans le 1^{er} corps évaporerà une quantité d'eau correspondante et cette vapeur passant dans le 2^o corps rendra une quantité de chaleur sensiblement égale.

En d'autres termes la quantité de chaleur M qui passe dans chaque caisse est sensiblement la même et l'on a : $M = \alpha s_1 t_1 = \beta s_2 t_2 =$

$$\gamma s_3 t_3 = \delta s_4 t_4, \text{ d'où : } \frac{\alpha s_1}{\beta s_2} = \frac{t_2}{t_1} \quad \frac{\beta s_2}{\gamma s_3} = \frac{t_3}{t_2}$$

Les produits αs_1 , βt_2 , γt_3 , δt_4 représentant la puissance de chaque surface de chauffe, on voit que : Les chutes de température d'une caisse d'un multiple effet à la caisse suivante, sont inversement proportionnelles aux puissances des surfaces de chauffe, ces puissances étant déterminées en tenant compte de tous les facteurs qui font varier le coefficient de transmission d'une caisse à l'autre.



Fig. 206. — Répartition de la surface de chauffe d'un multiple effet

Supposons maintenant que les coefficients α β γ δ soient constants et examinons comment il faudrait répartir la surface totale donnée S entre les différents corps pour obtenir le maximum de puissance évaporatoire. Si sur un système de coordonnées $o x y z$ nous portons les valeurs α , β , γ , δ ; $s_1 s_2 s_3 s_4$; $t_1 t_2 t_3 t_4$, les produits $\alpha s_1 t_1$ - $\beta s_2 t_2$ - $\gamma s_3 t_3$ - $\delta s_4 t_4$ représentent les quantités de calories transmises dans chaque corps du multiple effet. Le problème de la recherche du maximum de puissance évaporatoire d'un multiple effet se ramène donc au problème suivant : On donne les quantités α , β , γ , δ , et on demande le maximum des produits $\alpha s_1 t_1$ etc... avec cette condition que la somme des quantités $s_1 s_2 s_3 s_4$ et la somme des quantités $t_1 t_2 t_3 t_4$ soient respectivement égales à 2 quantités constantes S et T et que les produits $\alpha s_1 t_1$ - $\beta s_2 t_2$ etc... soient égaux entre eux. On démontre par l'analyse mathématique que pour avoir le maximum il faut que l'on ait :

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{\alpha}}; \quad \frac{s_1}{s_3} = \frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{\alpha}}; \quad \frac{s_3}{s_4} = \frac{\sqrt{\delta}}{\sqrt{\gamma}}$$

Il faut donc que les surfaces soient en raison inverse des racines carrées des coefficients de transmission de ces corps.

Des égalités $\alpha s_1 t_1 = \beta s_2 t_2 = \gamma s_3 t_3 = \delta s_4 t_4$; on tire

$$\frac{s_1 t_1}{s_2 t_2} = \frac{\alpha}{\beta} \quad \frac{s_2 t_2}{s_3 t_3} = \frac{\gamma}{\beta}$$

En remplaçant $\frac{s_1}{s_3}$ etc. $\frac{t_2}{t_3}$ etc. par leurs valeurs tirées des équations ci-dessus, on a :

$$\frac{\sqrt{\beta} t_1}{\sqrt{\alpha} t_2} = \frac{\alpha}{\beta} \frac{t_1}{t_2} = \frac{\beta \sqrt{\alpha}}{\alpha \sqrt{\beta}} = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{\alpha}}$$

De même $\frac{t_2}{t_3} = \frac{\sqrt{\gamma}}{\sqrt{\beta}}$ d'où $\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1}{t_2} \dots \dots \frac{s_2}{s_3} = \frac{t_2}{t_3}$

Donc quand le maximum aura lieu les chutes de température dans les différents corps seront proportionnelles aux surfaces de chauffe.

Puisque les surfaces des différents corps doivent être en raison inverse des racines carrées des coefficients de transmission dans ces corps et que ces coefficients vont en décroissant du 1^{er} au dernier corps, les surfaces doivent aller en augmentant. C'est ce que réalisaient les triple effets, dits différentiels, construits par Cail puis par d'autres, dans lesquels les surfaces de chauffe augmentaient de la 1^{re} à la dernière caisse dans le rapport de rapport de 1 à 2.

Pour la recherche du maximum d'évaporation nous avons admis des coefficients $\alpha\beta\gamma\delta$ constants pour les mêmes caisses.

En réalité ces coefficients varient légèrement, toutes choses égales d'ailleurs, suivant la température moyenne à laquelle on opère, et il est possible que le maximum soit atteint par des appareils un peu différents.

Pour un triple-effet isolé, on donne souvent à chaque caisse la même surface de chauffe ; on a alors :

$$t_1 \alpha = t_2 \beta = t_3 \gamma = t_4 \delta \text{ d'où } \frac{t_2}{t_1} = \frac{\alpha}{\beta}, \frac{t_3}{t_2} = \frac{\beta}{\gamma}, \frac{t_4}{t_3} = \frac{\gamma}{\delta}$$

c'est-à-dire que les chutes sont inversement proportionnelles aux coefficients de transmission et ces chutes vont en augmentant plus fortement de la 1^{re} à la dernière caisse. Ces chutes plus fortes dans les dernières caisses forcent la masse visqueuse de ces caisses à se soulever et facilitent l'ébullition. Mais il est facile de voir que, dans le cas d'un appareil vertical, cet appareil est déjà moins rationnel, car la vapeur se formant plus difficilement dans la dernière caisse, il est logique de donner à cette caisse une section supérieure à celle de la première caisse (Il s'agit d'un appareil isolé).

Les triple et quadruple effets isolés c'est-à-dire sans chauffages

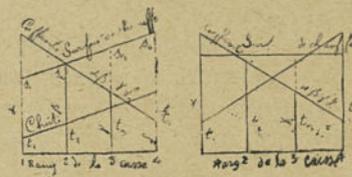


Fig. 207. — Triple effet différentiel et triple effet à caisses égales.

latéraux n'étant plus guère employés aujourd'hui que dans les sucreries de cannes (à tort, bien entendu), nous nous contenterons de donner un exemple, sans insister plus longuement.

Calcul des surfaces de chauffe des appareils à multiples effets
Quadruple effet différentiel

Le chauffage se fait généralement avec des vapeurs d'échappement à 0,5 atmosphère soit une tension absolue de 1 atmosphère $\frac{1}{2}$ ou 1 k. 55 par centimètre carré. Cette vapeur a une température de $110^{\circ}8$ mettons $110^{\circ}5$. D'autre part, le vide que l'on produit avec la pompe à air est de 62 à 64 cm de mercure, soit une tension de 14 à 12 cm et une température de 58 à 56° C. Dans ces conditions on aurait une chute d'au moins $110,5 - 58 = 52^{\circ}5$.

Mais les jus sucrés bouillent à une température supérieure à celle de la vapeur qu'ils émettent, d'abord à cause de la concentration du liquide et ensuite à cause de la hauteur qu'ils occupent au-dessus des surfaces de chauffe. Si la perte de chute est pour les caisses successives $1^{\circ} + 1,5 + 2,5 + 5,5 = 10,5$, la perte de chute est $10^{\circ}5$ et la chute totale utile de $52^{\circ}5 - 10^{\circ}5 = 42^{\circ}$ C.

La tension de la vapeur d'échappement ne peut pas dépasser $\frac{3}{4}$ d'atmosphère (température $116^{\circ}3$), si non, les machines n'ont plus une marche économique et peuvent même devenir insuffisantes à faire le travail qui leur est demandé.

Quadruple effet à caisses égales

Supposons que l'on ait pour les 4 caisses les coefficients de transmission $\alpha = 2400$, $\beta = 1800$, $\gamma = 1200$, $\delta = 600$ calories par heure ou 40, 30, 20, 10 par minute et une surface de chauffe de 1000 mq à répartir sur les 4 corps.

On a $s_1 + s_2 + s_3 + s_4 = S = 1000$.

$$s_1 \left(1 + \frac{s_2}{s_1} + \frac{s_3}{s_1} + \frac{s_4}{s_1} \right) = S; \quad s_1 = \frac{S}{1 + \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} + \sqrt{\frac{\alpha}{\gamma}} + \sqrt{\frac{\alpha}{\delta}}}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{40}{30}, \quad \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{40}{20}, \quad \frac{\alpha}{\delta} = \frac{40}{10}, \text{ etc...}$$

En faisant les calculs, on trouve :

$$s_1 = 179,57; \quad s_2 = 207,35; \quad s_3 = 253,94; \quad s_4 = 359,14$$

En répartissant la chute totale ci-dessus proportionnellement à ces surfaces, on a :

$$t_1 = 42 \times \frac{179,57}{1000} = 7,542, \quad t_2 = 42 \times \frac{207,35}{1000} = 0,709,$$

$$t_3 = 42 \times \frac{253,94}{1000} = 10,665, \quad t_4 = 42 \times \frac{359,14}{1000} = 15,084$$

Le tableau suivant résume la marche d'un appareil établi dans ces conditions.

	I	II	III	IV
Température de la vapeur entre les tubes	110,5	102	91,5	78
Température de la vapeur dans le dôme	102	91,5	78,0	58
Température du jus	103	93	81,0	63
Chute de température utilisable ..	75	9,0	10,5	15,0
Surface de chauffe de chaque caisse	179,5	207	253,9	359,14

Dans chaque caisse le nombre de calories transmises est de :

1 ^{er} corps	179,57 × chute	7,542 × coefficient	40 =	54.170 calories
2 ^o —	207,35 × —	8,709 × —	30 =	54.170 —
3 ^o —	253,94 × —	10,665 × —	20 =	54.170 —
4 ^o —	359,14 × —	15,084 × —	10 =	54.170 —
	<u>1000,00</u>	<u>42,000</u>		

Quadruple effet à caisses égales

Pour un quadruple effet à caisses égales, on aurait en refaisant les calculs des chutes avec les mêmes coefficients :

$$t_1 \left(1 + \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\alpha}{\gamma} + \frac{\alpha}{\delta} \right) = 42 : t_1 = 5,0 \quad t_2 = 6,7 \quad t_3 = 10,1$$

$$t_4 = 20,2$$

	I	II	III	IV
Température de la vapeur entre les tubes	110,5	104,5	96,3	83,7
Température de la vapeur dans le dôme	104,5	96,3	83,7	58
Température du jus	105,5	97,8	86,2	63,5
Chute de température utilisable	5,5	6,7	10,1	20,2

Dans chaque caisse le nombre de calories transmises par minute est de :

1 ^{re} caisse	250 mq × chute	5,0 × 40 =	50.000 calories
2 ^o —	150 mq × —	6,7 × 30 =	50.000 —
3 ^o —	250 mq × —	10,1 × 20 =	50.000 —
4 ^o —	250 mq × —	<u>20,2 × 10 =</u>	50.000 —
		42,0	

Dans chaque caisse le poids de vapeur condensée par heure, par mètre carré et par degré de chute est de :

$\frac{2400 \text{ calories}}{606,5 - 0,7 \times 110,5} = 4 \text{ k. } 53$	$\frac{1800 \text{ calories}}{606,5 - 0,7 \times 104,5} = 3 \text{ k. } 37$
$\frac{1200 \text{ calories}}{606,5 - 0,7 \times 96,3} = 2 \text{ k. } 22$	$\frac{600 \text{ calories}}{606,5 - 0,7 \times 83,7} = 1 \text{ k. } 10$

La quantité d'eau condensée dans les 4 chambres sera de :

$$4,53 \times 250 \times 5 + 3,37 \times 250 \times 6,7 + 2,22 \times 250 \times 10,1 + 1,10 \times 250 \times 20,2 = 23.467 \text{ k.}$$

Évaporation par heure et par mètre carré : 23 k. 467.

Évaporation par heure, par mètre carré et par degré de chute :

$$\frac{23,467}{52,5} = 0 \text{ k. } 45.$$

Si la proportion d'eau évaporée est de 81 p. 100, l'appareil pourra évaporer par heure $\frac{23,467 \text{ k.}}{81} = 28,970$ litres ou 6,953 hectol. par 24 heures. Le travail par mètre carré et par 24 heures sera de 6 h. 95 soit 7 hectol. tandis qu'un triple-effet en ferait 16 dans les mêmes conditions.

On voit que la chute de température diminue à mesure que le nombre de caisses augmente. L'évaporation par unité de surface diminue donc, et à mesure que l'économie de combustible augmente, le prix de l'appareil augmente également. C'est pour cela que l'on s'arrête généralement au quadruple effet.

Les quintuple et sextuple effets ne sont intéressants que dans le cas où le combustible est très cher : Espagne, Egypte (40 francs la tonne au lieu de 15 francs dans les pays de mines).

Diamètre des tuyaux de communication

Pour le calcul des tuyaux en général, nous admettrons que le diamètre le plus favorable est celui qui donne le maximum de perte de charge compatible avec les conditions de l'emploi de la vapeur.

Dans le cas d'un multiple effet, la chute de température étant très limitée, nous calculerons les diamètres pour éviter le plus possible les pertes de charge.

Pour déterminer les diamètres à donner aux tuyaux de communication, on prend des diamètres approximatifs et on vérifie par le calcul que les pertes de charge seront assez faibles pour ne pas diminuer sensiblement la capacité productive de l'appareil.

La perte de charge ou charge déterminant l'écoulement de la vapeur passant dans un tuyau peut se calculer par la formule de Poncelet et Pécelet (Voir pompe à gaz).

Prenons le cas de l'appareil ci-dessus. Le débit moyen est de 1 k. 70 de vapeur par seconde. Supposons que les tuyaux de communication aient 5 mètres de long avec 2 coudes à angle droit arrondis. Pour un angle droit on a $\sin^2 i = 1$. Pour un angle arrondi la résistance est égale à la moitié de celle d'un coude droit non arrondi.

Nous prendrons donc $n \sin^2 i = 2 \times \frac{1}{2} = 1$. Prenons d'avance comme diamètre 0 m. 05 et voyons la perte de charge. On a :

$$p_1 - p = \frac{1 + 0,83 + \left(\frac{0,024 \times 5}{0,6} + 1 \right) 1,7^2}{2 \times 9,81 \times 0,08 \times 0,5} = \frac{3,34}{0,785} = 41 \text{ k. } 15$$

soit 11 k. 15 par mq ou 1 gr. 115 mg par cmq (11 mm 15 d'eau).

La perte de charge est représentée par h sur la figure 209. Elle correspond à peu près à la dépression que l'on constate au bas d'une cheminée « à vapeur ».

Voyons à quel écart de température cela correspond :

Entre 97,1 et 100° écart de 2°9, l'écart de pression est de 10.334 k.—9.300k. = 1034 k. soit 356 pour 1° ou 35 k. 6 pour 1/10. Pour une perte de charge de 11 k. 15 on aurait donc un écart de température de :

$$0^{\circ}1 \times \frac{11,15}{35,6} = 0^{\circ}03$$

Ce qui est bien faible. Voyons ce que donneraient les caisses suivantes avec des vapeurs à des densités de 0,25 (température 76°), et de 0,125 (température 60°), le débit étant toujours de 1 k. 70 par seconde.

On trouverait $p' - p = 22 \text{ k. } 3$; $p''_1 - p'' = 44 \text{ k. } 6$.

Entre 60°5 et 69°5 écart de 9°, l'écart des pressions est de 3100 k —2067 k. = 1033 k. soit : $\frac{1033}{9} = 115 \text{ k pour } 1^{\circ} \text{ ou } 11 \text{ k } 5 \text{ pour } 1/10$.

Pour 44 k. 6 l'écart de température serait donc $0,1 \times \frac{44,6}{11,5} = 0^{\circ}38$.

Pour un quadruple effet comme celui pris ci-dessus, on aurait par exemple : $0^{\circ}03 + 0^{\circ}15 + 0^{\circ}27 + 0^{\circ}39 = 0,84$. Comme la chute utile est de 42°, on aurait un déchet de :

$$\frac{0,84 \times 100}{42} = 2 \text{ pour cent.}$$

Certains auteurs admettent un certain écart de température, par exemple de 0,5 et disent que cet écart est suffisant pour produire l'écoulement de la vapeur à condition que celle-ci n'atteigne pas, *par suite des faibles sections des conduites, une vitesse exagérée.*

Ce raisonnement est faux. La formule donnant la vitesse pour une densité de vapeur et une perte de charge données est :

$$V = \sqrt{\frac{2g(p_1 - p)}{\delta(1 + A + \frac{KL}{D} + n \sin^2 i)}}$$

A part le coefficient $\frac{KL}{D}$ qui caractérise le frottement, il n'est pas question du diamètre de la tuyauterie et celui-ci ne joue aucun rôle dans un régime de marche établi, c'est-à-dire avec températures initiale et finale constantes. Si le diamètre augmente, la chute de pression restant constante, le frottement diminue et la vitesse loin de diminuer, augmente au contraire. La formule $Q = VS$ signifie donc que si S augmente, c'est surtout Q qui augmente et non V qui diminue. Si nous calculons les vitesses avec les chiffres ci-dessus $\delta = 0,5, 0,25$ — $0,125$ et $p_1 - p =$ respectivement à 11k15, 22k3, 44k6, nous trouverons : $V = 11 \text{ m. } 82, 16 \text{ m. } 7, 23 \text{ m. } 64$.

Donc pour une section uniforme des communications dans un triple effet, les vitesses sont doublées approximativement de la première à la dernière caisse. En augmentant progressivement les sections on n'arriverait donc pas à une vitesse uniforme, puisque de l'augmentation de section résulte une augmentation de débit et de vitesse. En

donnant des diamètres trop faibles on change le régime de l'appareil ; on diminue sa capacité productive, c'est ce qu'il faut éviter, et par conséquent ce qu'il faut calculer. Pour des caisses égales ou équivalentes, il faut donner aux tuyaux de communication des sections égales aussi grandes que possible.

Appareils à ruissellement (Rieselverdampfapparate, Film évaporators)

Le coefficient K et par suite le coefficient de transmission Q dépendent beaucoup de la vitesse du liquide. On a imaginé divers systèmes ayant pour but de supprimer toute stagnation du jus dans les tubes en le faisant circuler en nappe mince. Nous avons déjà parlé du gros tube central dit de circulation.

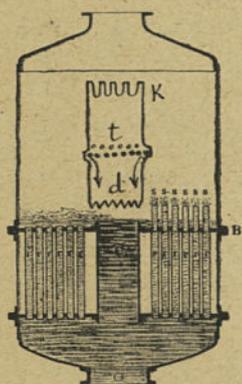


Fig. 208. — Ruissellement descendant.

Ruissellement descendant (Rieselei von oben)

— Dans l'appareil à ruissellement de l'ingénieur allemand Greiner (fig. 208), on supprime le gros tube C ou on le bouche et on aspire le jus à la partie inférieure par une pompe pour le refouler au-dessus de la plaque tubulaire supérieure B ; on adapte aux tubes r des bouts de tuyaux s dentelés dans le bas en d , portant en leur milieu des trous t et à leur partie supérieure des créneaux K. Le liquide descend par les trous et ruisselle le long de la paroi inférieure.

Ruissellement ascendant (Rieselei von unten)

— En supprimant la pompe et rétablissant le gros tube central C, la circulation est immédiatement renversée. Le jus dense descendant par le tuyau C, pousse le jus léger dans les petits tubes r vers le haut. Les tubes t enlèvent la pression du liquide sur les tubes r et le mélange de jus et de vapeur sort vivement en laissant échapper les bulles de vapeur ; toute la différence de densité entre les 2 colonnes est utilisée complètement pour accélérer la circulation. Mais faisons en sorte de ne laisser que très peu de liquide sur la plaque tubulaire supérieure et nous pourrions encore supprimer les bouts de tubes. On a remarqué que si on arrête subitement l'ébullition dans une caisse de multiple effet fonctionnant dans ces conditions, par exemple en cassant le vide, le liquide rentre complètement dans les tubes. Donc le liquide est très divisé dans les tubes et il suffit de marcher à plaque tubulaire presque découverte pour avoir, sans le secours d'aucun dispositif spécial, un ruissellement ascendant énergique. C'est ce que l'on fait, et c'est tout ce qui est resté des appareils à ruissellement. Nous dirons cependant quelques mots de deux systèmes assez curieux. Dans le système Canard, on introduit dans chacun des tubes une tige en bois qui prend tout le volume occupé antérieurement par le jus ; il se produit un véritable ruissellement ascendant.

Les tiges en bois deviennent au bout de quelques temps friables sous l'action de la chaleur et de l'alcalinité, et elles donnent parfois au jus, une coloration brune quand on nettoie l'appareil à l'acide ; on peut les remplacer par des tiges en fer émaillé, mais celles-ci coûtent cher eu égard à leur effet utile.

Dans le système Chapman, le tube central T est raccordé avec un bout de tube recourbé t sortant de la caisse et relié à un siphon. Le jus arrivant en j, monte dans les tubes, redescend par le tube central T et se rend par le siphon S dans le bas de la caisse suivante. La différence de niveau équilibre à peu près la différence de pression entre les deux caisses et empêche le passage d'une caisse dans l'autre d'être trop rapide (Fig. 209).

Ce système est très répandu dans l'Amérique du Sud où l'on en est satisfait. On voit le jus s'élançer hors des tubes et l'on est parfois obligé de mettre dans chaque calandre une tôle pour éviter les entraînements.

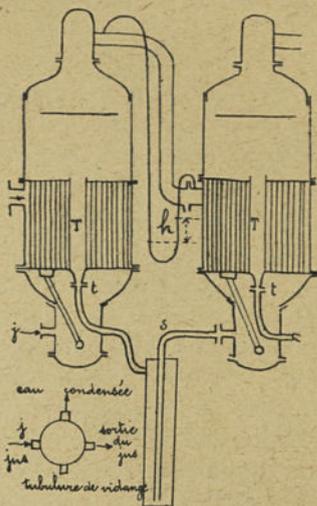


Fig. 209. — Multiple-effet Chapman.

On peut comparer le fonctionnement de ces évaporateurs à ruissellement ascendant à celui de l'émulseur Dubiau, appareil parfois utilisé pour augmenter la puissance d'évaporation des générateurs. Dans l'eau se trouve une cloche, l'orifice en bas et le fond percé de petits trous dans lesquels sont enchassés des tubes de 25 mm. taillés en biseau, qui dépassent à l'intérieur de la cloche et s'élèvent jusque dans la chambre de vapeur. La vapeur s'élève dans les tubes entraînant de l'eau qui se vaporise rapidement dans la chambre de vapeur. Un écran brise le jet et sépare l'eau.

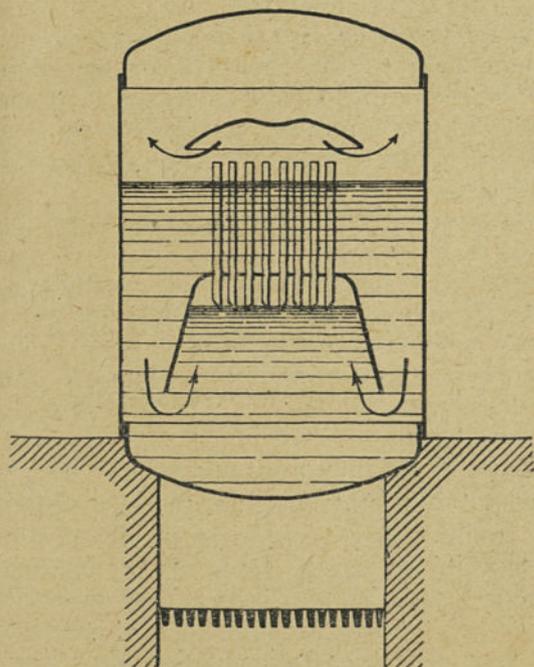


Fig. 210. — Emulseur Dubiau

La circulation rapide produite par cet appareil augmenté le coefficient de transmission et par suite la vaporisation (Fig. 210).

Dimensions des appareils verticaux. — La longueur des tubes des appareils verticaux varie de 1 m. 20 à 1 m. 50 ; le diamètre varie de 20 à 50 mm. On a cherché à diminuer la longueur des tubes, mais on est alors obligé d'augmenter le diamètre des caisses, et il n'est guère pratique de leur donner plus de 3 m. de diamètre. Ce raccourcissement des tubes est non seulement inutile, mais nuisible à la capacité productive de l'appareil, quand on a soin de le faire marcher avec un niveau de liquide très bas. Le jus est lancé vers le haut du tube et prend une vitesse $v = \sqrt{2g \times h}$ qui augmente avec la hauteur du tube. L'évaporation est donc meilleure quand le tube a une certaine hauteur ; mais si cette hauteur était exagérée, il en résulterait une assez forte pression à la partie inférieure du liquide. Pratiquement une hauteur de 1 m. 50 est déjà exagérée pour une bonne ébullition. (Il en est tout autrement pour l'appareil Kestner que nous allons étudier maintenant).

Le liquide peut être maintenu à un niveau aussi bas que possible ; il suffit que toutes les parties de la surface de chauffe soient bien mouillées. Le liquide de la dernière caisse étant plus visqueux a une tension superficielle plus grande et, par suite, une plus grande tendance à former des bulles de vapeur ; on peut donc maintenir le liquide à un niveau plus bas dans la dernière caisse.

Évaporateur Kestner. — Le problème de l'évaporation avait été nettement posé par Dubrunfaut avant 1830 : faire la concentration dans le temps le plus court en réduisant l'altération du jus sucré au minimum ; laisser séjourner le liquide le moins longtemps possible à la même température, ne le laisser qu'en couches minces et accélérer le mouvement du jus dans l'appareil.

Ce problème, resté si longtemps irrésolu, est aujourd'hui résolu par l'appareil Kestner.

Nous avons expliqué (page 142) le fonctionnement des émulseurs. M. Kestner chercha à utiliser l'émulsion ou les chapelets de Pohlé pour faire circuler le liquide dans les tubes d'évaporation, mais il ne tarda pas à appliquer un principe nouveau qui n'avait pas encore été appliqué dans les appareils d'évaporation, mais qui avait été posé et appliqué aux générateurs par Solignac : N'introduire par unité de temps dans les tubes vaporisateurs que la quantité d'eau qu'ils peuvent vaporiser pendant cette même unité de temps. Pour arriver à cela,

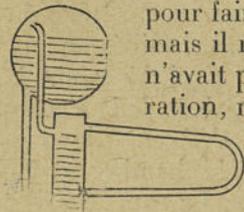


Fig. 211. — Générateur Solignac.

Solignac diaphragmait chaque tube à l'entrée (fig. 211), ce qui avait l'inconvénient de donner facilement des obstructions. Il n'est pas possible, par un seul diaphragme, de régler l'alimentation dans l'ensemble des tubes d'un faisceau tubulaire horizontal. Aussi Kestner

at-il adopté les tubes verticaux avec lesquels un seul diaphragme suffit, ce qui évite les dangers d'obstruction.

Évaporateur à grimpage (Kletterverdampfapparat, Climbing Evaporator). — Son évaporateur se compose d'un faisceau tubulaire d'évaporation et d'un séparateur sphérique (Fig. 212).

Le faisceau d'évaporation est formé de tubes R de 5 à 7 mètres de long, placés dans une enveloppe ou chambre de vaporisation M. Tous les tubes communiquent par la partie inférieure avec une chambre alimentée par un tube unique T, qui traverse par une boîte à calfat la cloison de la caisse.

Dans le haut, tous les tubes sont mandrinés dans une plaque tubulaire sur laquelle est monté le séparateur. Tout le faisceau tubulaire est donc à dilatation absolument libre. A est l'entrée de vapeur, E la purge d'eau condensée et G la purge d'air.

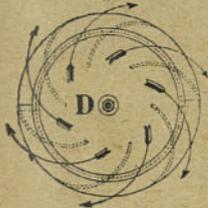


Fig. 213. — Séparateur centrifuge.

Le séparateur S de forme sphérique renferme une chicane D portant des ailes semblables à celles d'une turbine centrifuge (fig. 213).

Cette chicane est fixe et les ailes impriment à la vapeur qui vient buter contre elles un mouvement de rotation dans le séparateur ; il en résulte des forces d'inertie centrifuge qui séparent de la vapeur le liquide entraîné. Le liquide s'écoule par L et la vapeur s'échappe par B. Le liquide alimenté en courant continu par une pompe refulante dans le tuyau T pénètre également dans chacun des tubes R. L'ébullition produit d'abord des bulles, puis la vapeur augmentant de volume et de vitesse, entraîne le liquide le long des parois où il s'élève en *grim pant* en couche mince. Le centre du tuyau reste vide, aussitôt que la vapeur a atteint une vitesse suffisante. Arrivé au sommet des tubes, le liquide, toujours entraîné par la vapeur, est précipité contre la chicane dont les ailes produisent le changement de direction qui détermine le

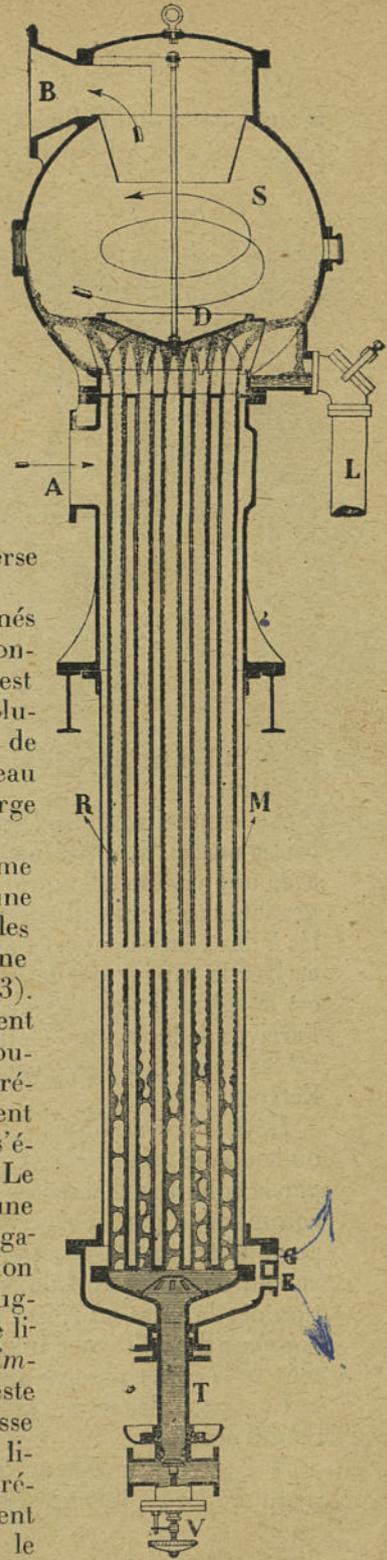


Fig. 212. — Évaporateur Kestner.

mouvement rotatif. La vapeur continuant à tourner se dessèche complètement avant de sortir par B à l'effet suivant ou au condenseur.

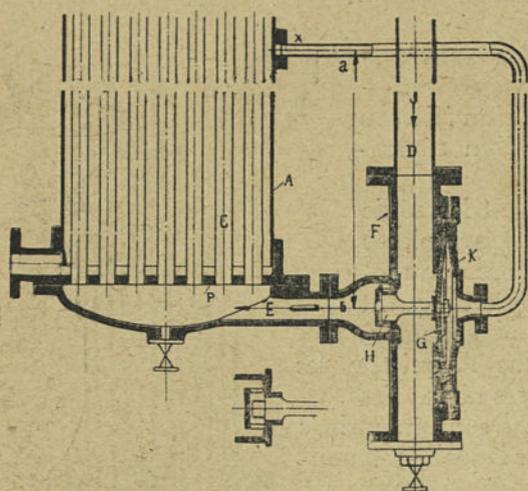


Fig. 214. — Régulateur de caisse à caisse. (P. Kestner)

Un grand inconvénient de la caisse ordinaire est la mauvaise circulation de la vapeur, d'où résulte la présence d'espaces morts où il se forme des poches de gaz. On a cherché à supprimer ces espaces nuisibles par l'emploi, dans la chambre de vapeur, d'un système de chicanes pour refouler tous les gaz incondensables vers un point de la caisse tubulaire où on place l'extraction de ces gaz, mais ces chicanes diminuent encore la vitesse de la vapeur déjà

faible et l'entraînement des gaz et par suite, leur extraction, laissent à désirer.

Au contraire, dans l'appareil Kestner, la longue enveloppe de la caisse est, en somme, un tuyau de 5 à 7 m. que la vapeur parcourt avec une vitesse telle qu'il est impossible qu'il se produise une rétrogradation ou une diffusion en arrière de gaz ; tous les gaz sont refoulés à l'extrémité opposée à l'entrée de la vapeur. On peut même faire arriver la vapeur par le bas et purger les gaz par le haut, le résultat est le même : tous les gaz sont refoulés au point extrême opposé à l'arrivée de la vapeur. Cette purge méthodique des vapeurs incondensables contribue également à la puissance d'évaporation de la caisse Kestner.

Régulateur du liquide de caisse à caisse. — Il comprend une valve ou soupape équilibrée H placée sur le tuyau D qui amène le liquide par la tubulure E dans la culasse du bas de la caisse. Cette valve est commandée par une membrane G en toile et caoutchouc, qui supporte d'un côté la pression du liquide et de l'autre la pression de la vapeur par le tuyau I dans lequel il s'accumule de l'eau de condensation dès la mise en route de l'appareil. La pression de la vapeur est la même dans l'espace intertubulaire de la caisse 2 que dans le séparateur de la caisse précédente (fig. 214).

Le dessus des deux colonnes de liquide en D et en I est donc à la même pression.

Muni de ce régulateur, l'évaporateur Kestner est entièrement automatique. Le liquide ne séjourne que deux minutes dans chaque caisse

et sort concentré moins d'un quart d'heure après son entrée. Le nettoyage à la brosse n'est en général pas nécessaire, la vitesse du liquide dans ces tubes est telle qu'il n'y a aucune incrustation.

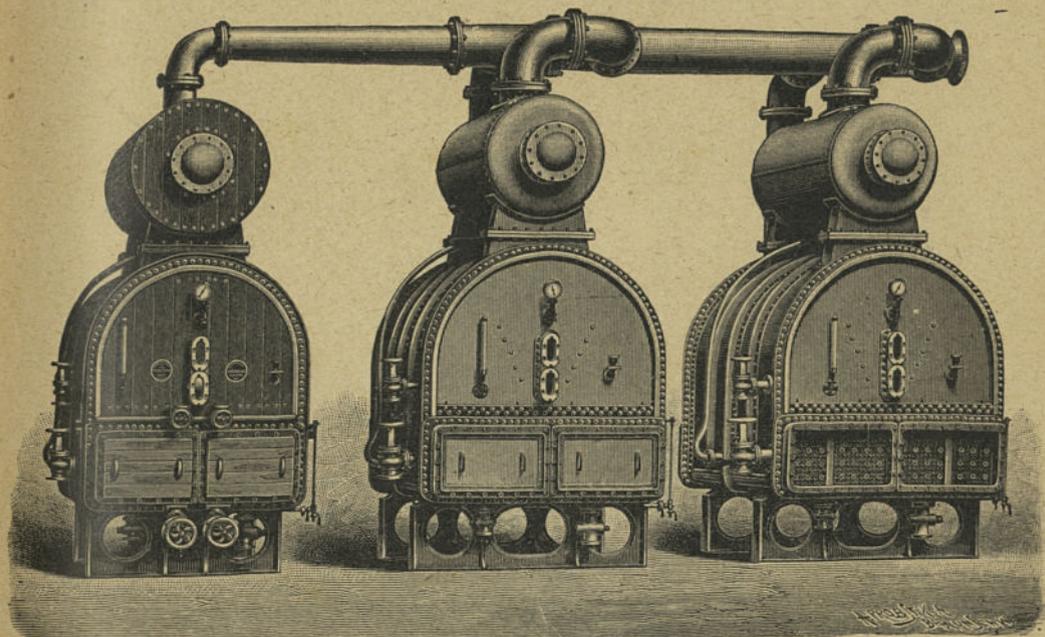


Fig. 215. — Triple-effet horizontal Wellner et Jelinek (Grevenbroich).

Si, avec un jus particulièrement incrustant, l'appareil avait tendance à se salir, il est facile de le nettoyer rapidement et, très souvent, puisqu'il n'y a en circulation dans l'appareil qu'un volume très réduit de liquide. Le nettoyage qui dure moins d'une heure peut se faire sans arrêter l'usine.

Triple effet horizontal (Liegender Dreikörper Apparat). — Les appareils verticaux présentent l'avantage que les tubes se nettoient facilement et que l'eau de condensation s'écoule très rapidement ; par contre, la vitesse de la vapeur dans l'espace intertubulaire est assez faible et il faut s'efforcer de l'augmenter le plus possible. En comparant les avantages et les inconvénients de chaque système on trouve que les deux sont équivalents.

Les triple-effets horizontaux sont surtout employés en Autriche.

Pour éviter la difficulté du démontage des tubes, on réunit ceux-ci par groupes de 6 ou 8 et on fait le joint au moyen de collerettes en

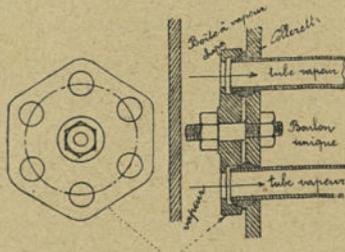


Fig. 216. — Évaporateur horizontal.

caoutchouc et de chapes qui emboîtent les 6 ou 8 garnitures à la fois. Un seul boulon suffit à serrer tous les joints. Les trous ont un diamètre un peu supérieur à celui des tubes. On augmente l'espace réservé à l'ébullition en donnant aux chaudières une forme en coffre ou en tombeau, à fond plat, et on réunit les tubes en un faisceau parallèle à ce fond et de peu de hauteur. Le jus réparti autour de ces tubes occupe également une très faible hauteur, en sorte que l'ébullition est régulière et tranquille. Ce système présente l'avantage qu'on peut employer des tubes ayant 3 à 4 m. de longueur, tandis que les tubes des appareils verticaux (à part ceux de Kestner) n'ont que 1 m. 25 à 1 m. 50 de hauteur (pour avoir une bonne ébullition, 1 m. 50 est déjà trop). Il en résulte qu'un appareil vertical à grande surface exige un diamètre énorme et est d'un prix bien plus élevé qu'une caisse horizontale de surface égale.

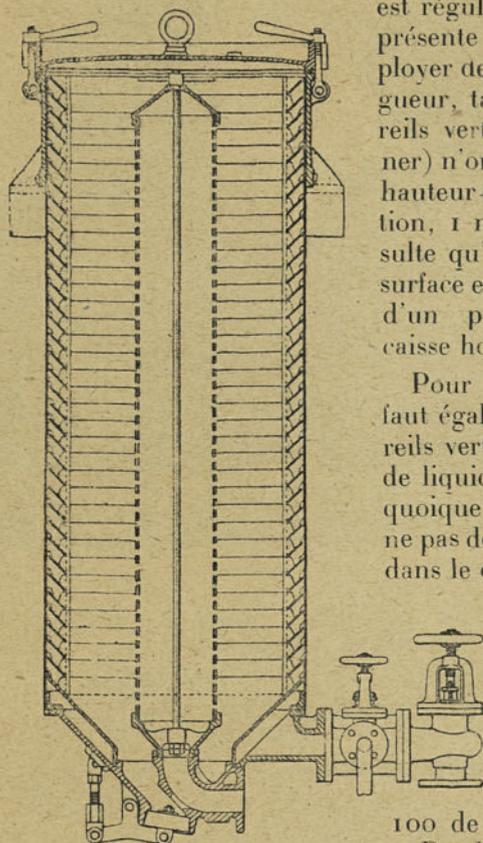


Fig. 217. — Filtre à sable d'Abraham.

Pour les appareils horizontaux, il faut également, comme pour les appareils verticaux, maintenir une hauteur de liquide aussi faible que possible, quoique cette façon d'évaporer ne donne pas de résultats aussi favorables que dans le cas des appareils verticaux.

Filtration des sirops. —

Le sirop sortant du quadruple ou quintuple effet marque de 25 à 30° Baumé (densité 1210 à 1260 à 15°C) ; l'évaporation a enlevé au jus de 80 à 85 p. 100 de l'eau qu'il renfermait.

Pendant l'évaporation, diverses substances, principalement des sels de calcium, de la silice, de l'alumine, de l'oxyde ferrique et des matières grasses se séparent et donnent au liquide un aspect trouble ; avant de continuer le travail, il faut le filtrer pour le rendre limpide. Anciennement on effectuait cette opération en filtrant sur une couche de noir en grains ; actuellement on se sert de filtres mécaniques décrits ci-dessus. Le sirop sortant de la dernière caisse est à une température d'environ 60°C ; pour faciliter la filtration, on le réchauffe d'abord à 100°C. En sortant des filtres le sirop coule dans un bac à sirop filtré d'où il passe à la cuite.

Filtre à sable système Abraham (Sandfilter, Sandfilter). — Ce filtre se compose d'un cylindre en tôle à fond conique dans lequel sont placés l'un sur l'autre 36 anneaux coniques munis d'ergots qui posent sur l'anneau inférieur, laissant entre eux un espace circulaire libre (fig. 217).

Les anneaux sont d'un diamètre plus petit que le cylindre et ils sont centrés par les ergots qui, eux, touchent la partie cylindrique. L'anneau inférieur est plus large que les autres ; il est fixé au fond sur lequel il repose et avec lequel il fait joint au moyen d'une rondelle en caoutchouc.

Le centre du filtre est occupé par un tube filtrant de 250 mm. (formé de 2 tôles perforées posées l'une sur l'autre et calibrées) calibré de façon à ne laisser passer aucun grain du sable qui a été préalablement tamisé en grains de 6 à 8 mm. de diamètre.

La partie conique inférieure du tube filtrant est posée sur l'extrémité du coude d'évacuation des jus filtrés et fait joint avec lui au moyen d'une portée conique, ajustée sur le coude lui-même. Le filtre est fermé en haut par un couvercle en tôle avec joint caoutchouc.

Le sable vierge ou lavé est introduit par le haut ; il se répand en couches concentriques entre le cylindre filtrant et les anneaux, en formant sur ces derniers des surfaces-serrées en gradins et laissant entre les anneaux un espace annulaire libre.

Le liquide à filtrer entre par la tubulure latérale inférieure (à droite) ; il remplit, sous l'effet de la pression, l'espace libre autour des anneaux jusqu'au robinet d'air, traverse en rayonnant sur tous les points les couches de sable de 200 mm. serrées entre les anneaux et le tube filtrant et s'écoule limpide par le coude inférieur qui forme joint avec la partie centrale.

Filtre à sable à bac de lavage indépendant, Reinecken et Raimbert
— Il se compose d'une cuve tronconique A terminée par un fond cylindrique I et garnie d'une tôle filtrante placée à quelques centimètres de sa paroi intérieure. Elle se termine en haut par une rehausse tronconique et est fermée par un couvercle boulonné. Dans l'axe de cette cuve se trouvent une série d'anneaux concentriques placés avec leur plus grand diamètre en bas et ayant des dimensions telles que chacun recouvre de quelques centimètres celui qui est au-dessous. L'espace entre les anneaux et la tôle perforée est garni de sable et on profite de ce que l'espace central est libre pour y placer l'éjecteur E et le tuyau central D pour l'enlèvement du sable (fig. 218).

Le liquide à filtrer arrivant par la valve 1, passe dans l'espace libre laissé entre les anneaux, filtre à travers le sable horizontalement ou obliquement, traverse la tôle perforée et se réunit dans la chambre I. Le liquide filtré remonte par le col de cygne G qui maintient le filtre plein, même quand on arrête l'arrivée du liquide.

Pour laver le sable, on ferme la soupape 1 et on ouvre 2 pour en-

lever le liquide non filtré. On place le tuyau coudé M sur D₂ et on ouvre la soupape 3 de l'éjecteur. L'eau lancée sous une pression de 2 k. aspire et entraîne le sable qui entoure l'éjecteur.

En 15 minutes, le sable est transvasé dans le bac de lavage P placé à côté du filtre. Ce bac, de forme conique, porte à sa partie inférieure un éjecteur Q et 4 petits injecteurs R qui entraînent le sable, le font tourbillonner et le lancent par le tuyau L. Pendant le transvasement du sable, l'eau sale déborde dans la couronne de trop-plein N d'où elle est évacuée après son passage dans le récupérateur de sable, par le tube S. Elle dépose le peu de sable qu'elle a entraîné pendant le lavage, dans la partie conique, d'où il est retiré en soulevant la soupape U. Le sable est rejeté dans le bac de lavage et on continue de le faire circuler jusqu'à ce que l'eau sorte claire.

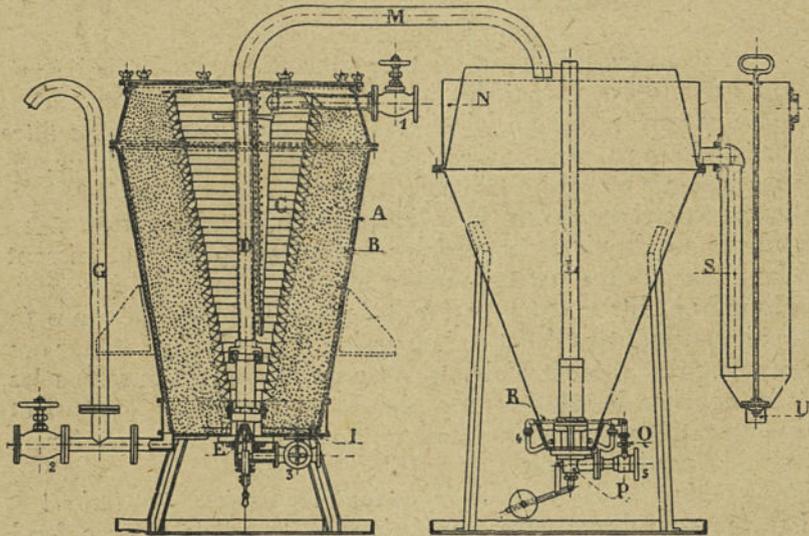


Fig. 218. — Filtre à sable Reinecker et Rainbert.

On ferme alors la soupape 1, on dévisse le coude M, on le retourne, on le visse sur L et on ouvre la soupape P. L'eau entraîne le sable, et le fait tomber sur une tôle en forme de parapluie qui ramène le sable à sa place. Un bac de lavage peut desservir 8 filtres, à la condition de les mener doucement et d'employer un sable rond (sable de la Loire). Ces filtres sont bons. Ils exigent beaucoup d'eau et une bonne pression pour faire marcher l'éjecteur, mais le nettoyage du sable se fait fort bien.

Filtre à sable des ateliers de Grevenbroich. — Il consiste en un réservoir cylindrique qui porte un faux fond perforé et est fermé par un couvercle bombé ou un couvercle plat à charnières. Le réservoir est muni d'un appareil servant au malaxage et au rinçage de la matière filtrante, quand elle est sale. Il comprend un tuyau horizontal qui porte une série de tuyaux verticaux perforés et plongeant dans le

sable. Le tout est monté sur le tuyau d'entrée de l'eau servant au rinçage et tourne facilement au moyen d'une manivelle ou d'une transmission (fig. 219).

Le jus à filtrer réchauffé préalablement à 90°C entre par la valve A, traverse de haut en bas la couche de sable et s'écoule par le tuyau O, la valve B, le tuyau Q et le tube en caoutchouc S. Un tube de niveau L sert à contrôler la hauteur du liquide. Quand le filtre ne débite plus

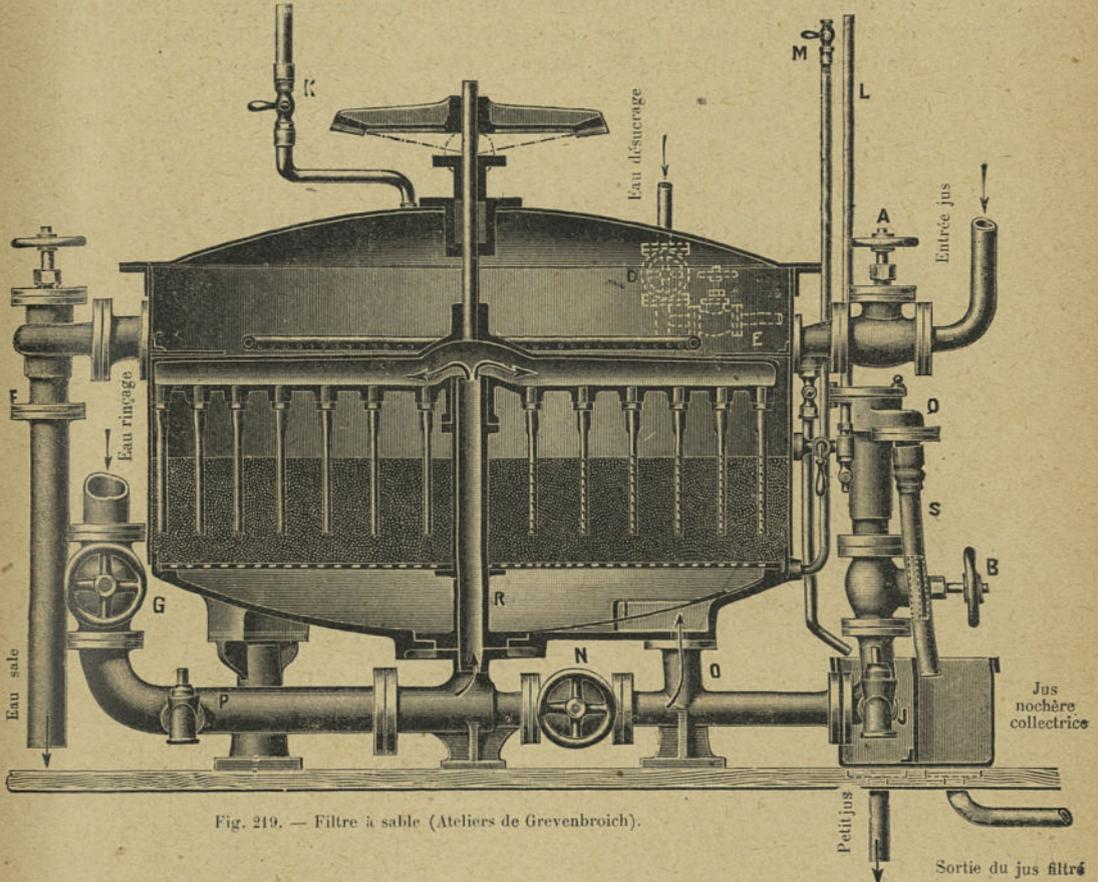


Fig. 219. — Filtre à sable (Ateliers de Grevenbroich).

un volume suffisant de liquide clair, on ferme la valve d'entrée A, on évacue celui qui reste sur le sable, et on fait arriver de l'eau chaude par la valve D. Si celle-ci a une température insuffisante, on la réchauffe par de la vapeur injectée par E pendant que le robinet d'air K reste ouvert pour éviter toute pression de vapeur dans le filtre.

L'eau de désuçage qui se trouve dans le bas du filtre après la fin de l'opération est évacuée par le robinet J.

Filtre à sable Breitfeld Danek. — Sur la partie inférieure en fonte A, qui se divise en dessous en 2 parties coniques, est monté un réservoir B, divisé jusqu'à une certaine hauteur, au milieu, en 2 compar-

timents au moyen d'une paroi *b*. On remplit de sable jusqu'à *a*, *a*, sous le tuyau d'entrée *G*. Le liquide à filtrer entre par la soupape *E* dans le filtre, s'écoule par le tuyau *G* sur la surface du sable, et passe à travers la couche de sable, pour arriver filtré en bas dans un collecteur par un système de tuyaux de drainage *S*, lesquels sont montés dans la partie inférieure en fonte *A*. Du collecteur, le liquide passe par les tuyaux *C* et une tubulure de sortie *d*, réglable par une tige et une roue *D*, dans une gouttière *I* et de là, par la tubulure de sortie *K*, dans le réservoir à liquide filtré. La soupape à gorge *G*, munie d'un flotteur, sert à régler le niveau du liquide dans le réservoir *B*, de sorte qu'il travaille sans cesse sous une égale pression (fig. 220).

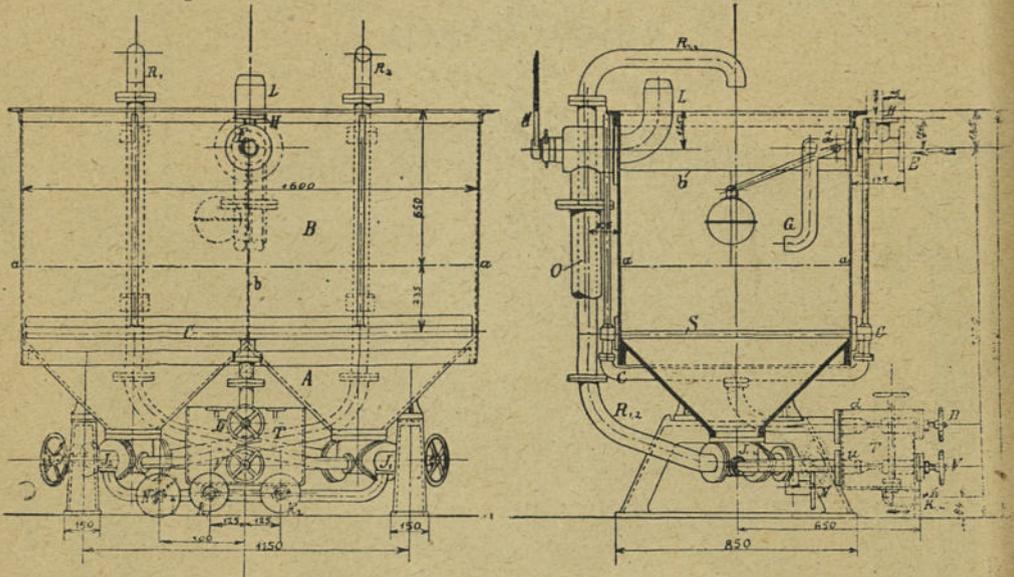


Fig. 220. — Filtre à sable Breitfeld Danek et Co.

Le lavage du sable se fait dans le filtre même.

L'eau servant au désuçrage du sable avant le lavage de celui-ci, arrive par la soupape *H* ; les petites eaux sortent par la soupape *K*, ou *K*² (suivant leur densité). La soupape *N* commande la conduite d'eau sous pression pendant le lavage du sable par les injecteurs *J*, *J*².

Appareils d'évaporation mixtes. — Dans ces dernières années, on a établi des appareils à quadruple effet ayant les 2 premières caisses à tubes horizontaux et les 2 autres à tubes verticaux. Cette construction est rationnelle, si l'on considère que les 2 premières caisses, pour fournir de la vapeur de jus aux différents chauffages de l'usine, doivent être de dimensions beaucoup plus grandes (presque doubles) que les 2 dernières et que, si l'on a à évaporer des jus bien travaillés, ces 2 premières caisses ne s'incrustent pas, le dépôt se faisant seulement dans la 3^e et surtout la 4^e caisse.

Par raison d'économie, on substitue maintenant les tubes en acier aux tubes en laiton exclusivement employés autrefois. L'acier résiste mieux à l'ammoniac que le laiton, par contre, s'il faut faire bouillir souvent l'appareil avec de l'acide (1 p. 100 d'H Cl) dilué pour enlever les incrustations, c'est le laiton qu'il faut préférer. On pourrait donc établir un quadruplé effet avec 2 caisses horizontales à tubes d'acier suivies de 2 caisses verticales à tubes de laiton.

Incrustations (Steinabsatz ; Scale). — Il est très rare que les jus ne déposent aucune incrustation, sur les tubes, malgré les soins apportés à l'ébullition et à la filtration. Les principaux sels incrustants, notamment les combinaisons du calcium avec les acides carbonique, surfurique, sulfureux, oxalique et autres acides organiques, ne sont pas complètement insolubles dans le jus dilué. Comme ils sont moins solubles dans le jus concentré, ils se précipitent, non seulement par suite de l'évaporation d'une partie de l'eau, mais encore par suite de leur moindre solubilité dans le sirop et ils adhèrent assez fortement aux surfaces de chauffe. Quand le jus a été bien déféqué, saturé et bouilli, il se produit très peu d'incrustation dans les caisses à jus faible ; mais il s'en produit toujours plus ou moins dans les derniers corps, suivant la dose de sels de chaux qu'ils renferment. Mais si la carbonatation a été mal faite à une température insuffisante, ou si la filtration a été négligée, il se forme également des incrustations dans les premiers corps. Ces dernières proviennent surtout des particules en suspension dans le jus, tandis que celles des derniers corps résultent de la précipitation des sels de calcium par suite de l'évaporation de la majeure partie de l'eau. Pour cette raison, l'ébullition, ou bouillissage du jus avant son entrée dans l'appareil d'évaporation, ne peut pas diminuer les incrustations dans les dernières caisses. Il est plus recommandable de filtrer le jus entre les premières et les dernières caisses, en ayant au besoin recours à l'emploi des pompes quand la différence de pression entre les caisses est insuffisante. L'enlèvement des incrustations par des moyens mécaniques à l'aide de brosses ou de grattoirs, pendant la campagne, n'est possible que dans les appareils verticaux, car avec les appareils horizontaux, il faut démonter les tubes. Mais même avec les appareils verticaux, le nettoyage mécanique est ennuyeux, long et fatigant pour les ouvriers. Aussi préfère-t-on presque partout le nettoyage chimique par ébullition avec du carbonate de sodium ou avec un mélange de bisulfate de sodium et d'acide, ou encore avec de l'acide seulement. En répétant ce traitement tous les dimanches et en le prolongeant suffisamment, on arrive à conserver à l'appareil une capacité productive presque constante pendant toute la campagne.

Si l'incrustation est presque uniquement du carbonate de calcium, une simple ébullition avec de l'acide chlorhydrique suffit. Mais fréquemment, elle contient encore d'autres sels que l'acide chlorhydrique dilué, dissout difficilement ou même ne dissout pas du tout dans le

dépôt compact : tels sont principalement le sulfite, le sulfate et l'oxalate de calcium, et en outre les savons calcaires provenant des corps gras introduits dans l'appareil pour combattre les mousses. D'autres matières que l'on rencontre parfois dans les incrustations sont la silice, l'alumine et l'oxyde de fer, qui proviennent de la chaux, et en outre des matières grasses non décomposées qui sont nuisibles en ce sens qu'elles empêchent le liquide bouillant de mouiller le dépôt et empêchent l'acide chlorhydrique d'y pénétrer. Dans tous ces cas, il y a avantage à faire bouillir d'abord avec une solution faible de carbonate de sodium pour transformer les sels calcaires en carbonate de calcium, désagréger le dépôt et dissoudre les corps gras. Le dépôt ainsi modifié se dissout ensuite facilement dans l'acide. Si l'on veut éviter cette double ébullition, il y a avantage à ajouter à l'acide du sulfate acide de sodium $\text{SO}^2 \text{H} \cdot \text{Na}$ qui transforme le carbonate et les organates de calcium en sulfate de calcium qui, occupant un volume plus grand, fait éclater l'incrustation ou du moins la désagrège et la rend plus facilement soluble dans l'acide chlorhydrique. Ce n'est que dans des cas très rares que le dépôt résiste à ce traitement chimique, par exemple lorsqu'il contient beaucoup de silice ou d'alumine ; dans ce cas, il faut recourir au nettoyage mécanique.

L'acide chlorhydrique employé pour désincruster ne doit pas être trop concentré, afin de ne pas attaquer sensiblement les parois en fer, ce qui les affaiblirait. L'incrustation qui, naturellement, recouvre également les parois, suffit à protéger celles-ci contre l'action des acides dilués. La teneur de l'eau de nettoyage en HCl ne doit jamais dépasser 1 p. 100 dans les derniers corps qui sont les plus incrustés et 0,25 à 0,5 p. 100 dans les premières caisses. Pour éviter que les parois ne soient non plus attaquées pendant que l'on aspire l'acide dans la caisse où l'acide concentré reste un certain temps en contact avec le métal, à l'endroit où arrive l'acide, il est bon d'aspirer l'acide par un tuyau qui débouche au milieu de la caisse et de ne faire arriver l'acide que lorsque l'eau est en ébullition sous la tension de l'atmosphère, afin que l'ébullition détermine immédiatement le mélange. L'ébullition ne doit pas être faite à des températures trop élevées et ne pas durer plus de 1 à 2 heures.

La solution de carbonate de sodium ne doit pas renfermer plus de 0,5 à 1,5 p. 100 de $\text{Na}^2 \text{CO}^3$. L'ébullition, avec cette solution, doit être prolongée aussi longtemps et à une température aussi élevée que possible dans chaque caisse ; il faut donc diminuer le vide en fermant la valve sur le tuyau allant au condenseur ou en diminuant fortement l'arrivée d'eau au condenseur. Une ébullition très légère suffit.

Aussitôt après le passage à l'acide, il faut remplir la caisse d'eau jusqu'au-dessus des tubes, vider et rincer. Si l'on veut inspecter l'appareil avec une lumière, il faut attendre que la pompe à air aspire

suffisamment l'air, afin d'éviter les dangers d'explosion (H. Claassen. *Di Zuckerfabrikation*, 3^e édition 1908).

Sulfitation (Schwefeln, Sulphuring). — Comme nous l'avons dit plus haut (p. 151), dans certaines usines très bien surveillées, on sulfite les jus. Cette sulfitation se fait sur les jus faibles, c'est-à-dire sur les jus filtrés après 2^e carbonatation ou sur les jus concentrés entre la 1^{re} et la 2^e caisse d'évaporation ; les sucreries qui la pratiquent la préfèrent à la sulfitation des sirops à cause des difficultés de filtration dues à la grande concentration de ceux-ci. Un autre avantage de

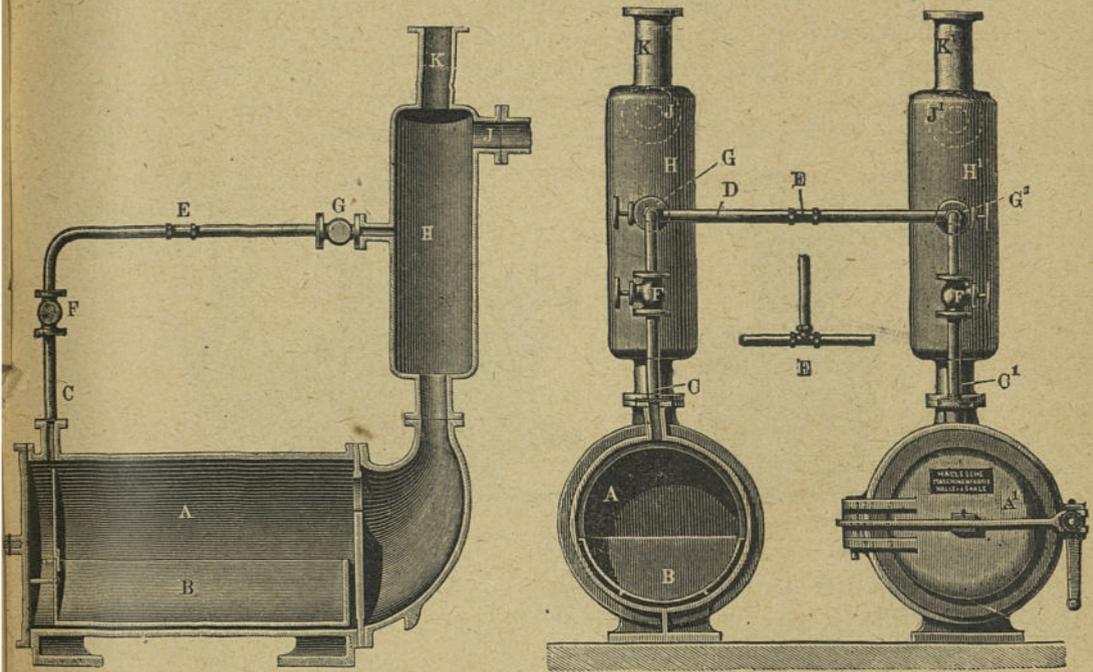


Fig. 221. — Four à acide sulfureux discontinu (Hallesche Maschinenfabrik).

la sulfitation des jus, c'est qu'elle empêche toute coloration pendant l'évaporation ; cette coloration étant une fois formée, il est difficile de la faire disparaître, et le traitement préventif est toujours préférable au traitement curatif.

Après 2^e carbonatation, le jus est bouilli pour décomposer les bicarbonates, puis filtré. L'alcalinité est alors de 3 gr. 5 à 4 gr. 5 par hectol. et l'oxalate ne révèle que des traces de CaO. On introduit le jus dans les bacs à sulfiter et on sature pour ramener l'alcalinité à 1 gr. à 2 gr. par hectol., on filtre et on évapore. Le dépôt après sulfitation est nul ou presque nul et la filtration est rapide.

Les jus concentrés ont l'inconvénient d'avoir déjà perdu à l'évaporation une partie de leur alcalinité et il devient parfois difficile de faire agir l'acide sulfureux sans que le milieu ne devienne acide, et si l'on

renforce l'alcalinité par addition de chaux, l'acide sulfureux forme alors des sulfo-organates calciques solubles très nuisibles. De plus, en opérant sur les petits jus, la quantité de SO_2 absorbée est plus grande, le volume de liquide étant plus grand. La sulfitation des jus concentrés entre les caisses d'évaporation gêne la marche de ces appareils et occasionne des chutes de température par le soutirage des jus d'une caisse et leur réintroduction, après sulfitation, dans la caisse suivante.

Appareils de sulfitation discontinue. — L'appareil déjà ancien de la fig. 221 se compose de 2 cylindres en fonte de 1 mètre de longueur environ, fermés en avant par des portes avec étrier à vis. Le soufre est mis dans une coupelle B et l'air comprimé arrivant d'un compresseur, par E, est injecté par D et CC. On règle l'entrée d'air par les soupapes FF. L'anhydride sulfureux sort par le

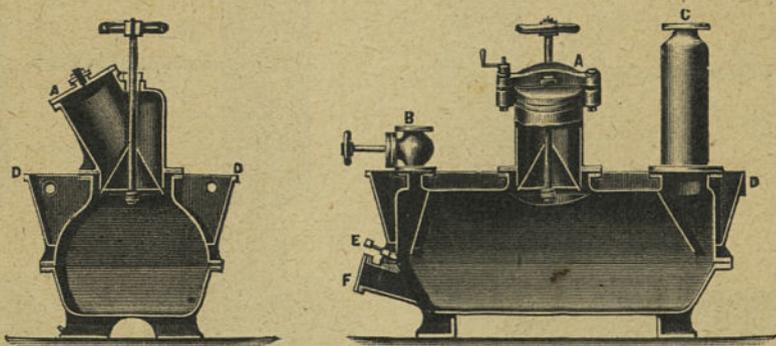


Fig. 222. — Four à soufre (Ateliers de Grevenbroich).

cylindre HH' où une injection d'air par G, permet, le cas échéant, de brûler le peu de soufre ayant échappé à la combustion, puis il se rend par J dans les chaudières à sulfiter. Une tubulure K sert au nettoyage.

Dans le four Grevenbroich (fig. 222), le soufre est introduit par le trou d'homme A muni d'un couvercle étanche et d'une valve conique qui empêche le dégagement du gaz pendant le chargement et pendant le fonctionnement. L'air comprimé entre en B et l'anhydride sulfureux sort par C. L'eau de refroidissement circule dans le manteau D. On enflamme le soufre en introduisant un fer rouge par le trou E qu'on ferme ensuite par un bouchon. Les résidus que laisse la combustion du soufre impur sont évacués par l'ouverture F.

L'appareil à sulfiter F. Moret, comprend une caisse A (fig. 223), un sublimateur refroidisseur B et un épurateur C. La combustion du soufre se fait dans la coupelle a. Une trémie b, fermée à la partie supérieure par un couvercle garni en amiante et à la partie inférieure par une poire pouvant être manœuvrée de l'extérieur, permet le rechargement du four sans arrêter la marche.

L'entrée d'air se fait en *e*. Le sublimateur B est entouré d'une cuve en tôle dans laquelle circule de l'eau froide qui s'écoule ensuite par un trop-plein, sur la caisse du four. L'eau entre dans l'épurateur par

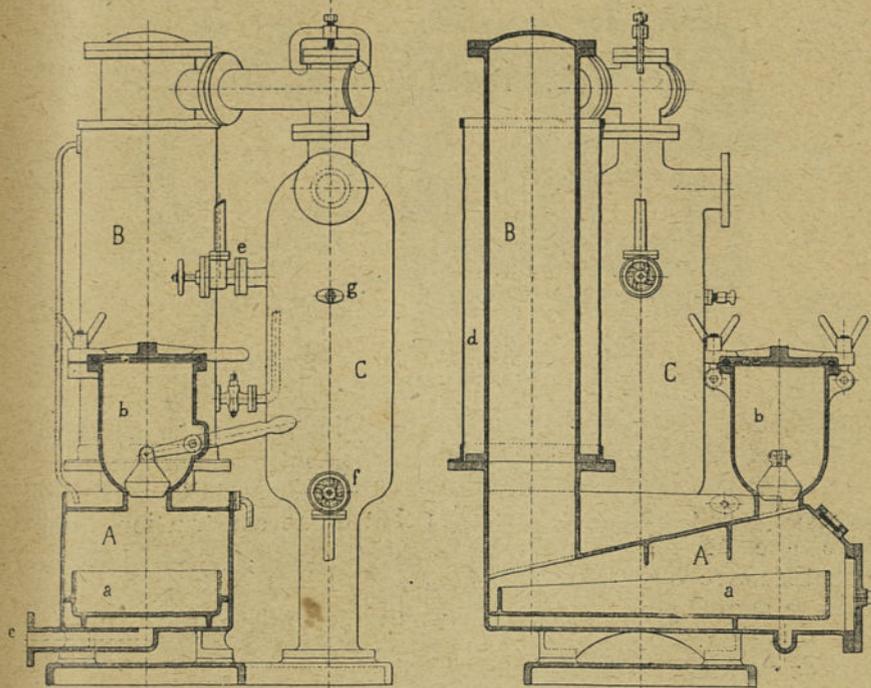


Fig. 223. — Appareil à acide sulfureux F. Moret.

un robinet-soupape en plomb *e*, à gaine en caoutchouc ; la vidange se fait par un robinet identique *f*. Le robinet *r* sert de robinet de jauge.

Pour éviter l'attaque des robinets ou soupapes par l'acide sulfureux, on peut employer le robinet à soupapes avec gaine en caoutchouc. On les fait en fonte avec siège en plomb durci, ou entièrement en plomb durci. La vis de manœuvre est entièrement à l'abri du contact du gaz (fig. 224).

Compresseur d'air Worthington. — Dans ce compresseur (fig. 225) l'admission de l'air dans le cylindre s'opère mécaniquement par des obturateurs semi-rotatifs type Corliss. Ceux-ci permettent le passage de l'air sans se soulever de leur logement et ne sont pas sujets au martelage ; en outre, un graissage convenable et l'usage tendent plutôt à augmenter qu'à diminuer leur douceur de fonc-

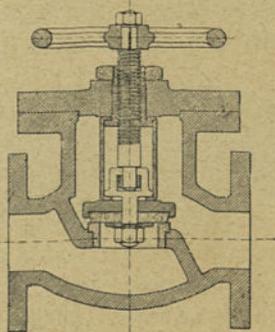


Fig. 224. — Robinet-soupape F. Moret.

tionnement. Placés dans les fonds ou très près de ceux-ci, ces obturateurs offrent à l'air aspiré un passage court et direct par un seul orifice de large section, et réduisent au minimum la surface de con-

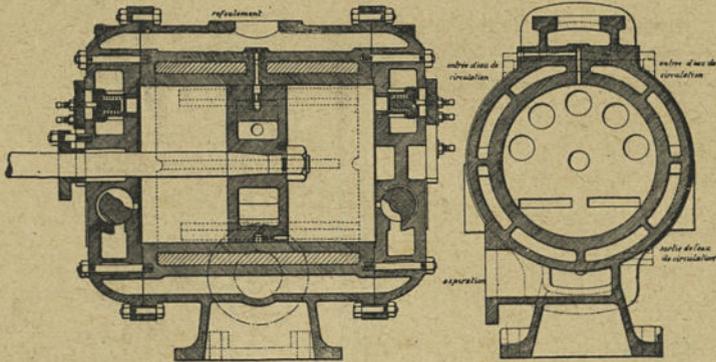


Fig. 225. — Compresseur d'air Wauthington.

tact échauffée. L'air pénètre donc dans le cylindre à une température relativement basse, ce qui augmente le rendement volumétrique.

Les soupapes de décharge (refoulement), en acier, affectent la forme d'une coupe (fig. 226 et 227) ; elles sont d'une construction aussi légère que possible, compatible avec le rude usage auquel elles sont soumises. Les sièges de ces soupapes pourraient dans un but d'économie de main-d'œuvre et de matière, être disposés dans la fonte même du cylindre ou fond de cylindre ; mais ce système serait défectueux. En effet, la malléabilité relative de la fonte et sa tendance à se désagréger sous la répétition des chocs seraient la cause qu'elle s'use et s'effrite rapidement. Un autre inconvénient est que cette désagrégation et cette usure pourraient avoir pour résultat de découvrir une soufflure ou même certaines parties poreuses dans la fonte. Il faudrait alors renouveler la pièce complète, fond de cylindre ou cylindre, dans laquelle se trouve le siège défectueux. Pour toutes ces raisons, les soupapes de décharge travaillent sur des sièges amovibles en bronze dur. Ces sièges sont prolongés en forme de cage pour offrir aux soupapes

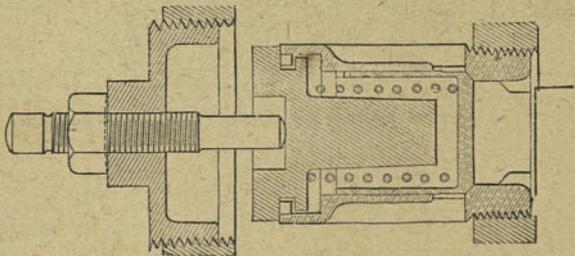


Fig. 226.

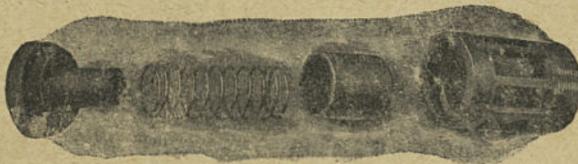


Fig. 227.

alors renouveler la pièce complète, fond de cylindre ou cylindre, dans laquelle se trouve le siège défectueux. Pour toutes ces raisons, les soupapes de décharge travaillent sur des sièges amovibles en bronze dur. Ces sièges sont prolongés en forme de cage pour offrir aux soupapes

de larges surfaces de guidage. Un chapeau est fixé dans la partie supérieure des sièges ou cages ; ce chapeau est à son tour maintenu en position de l'extérieur par un boulon vissé à travers chacun des regards prévus dans le paroi de la chambre des soupapes. De cette façon il est impossible à aucun des sièges, ressorts, soupapes ou chapeaux de soupapes de se détacher de la place qui leur est assignée ; en outre, les visites et les réparations des clapets peuvent se faire très rapidement.

Compresseur Ingersoll Rand. — Les 2 soupapes d'admission G (fig. 228), se trouvent dans la tête du piston et suivent son mouve-

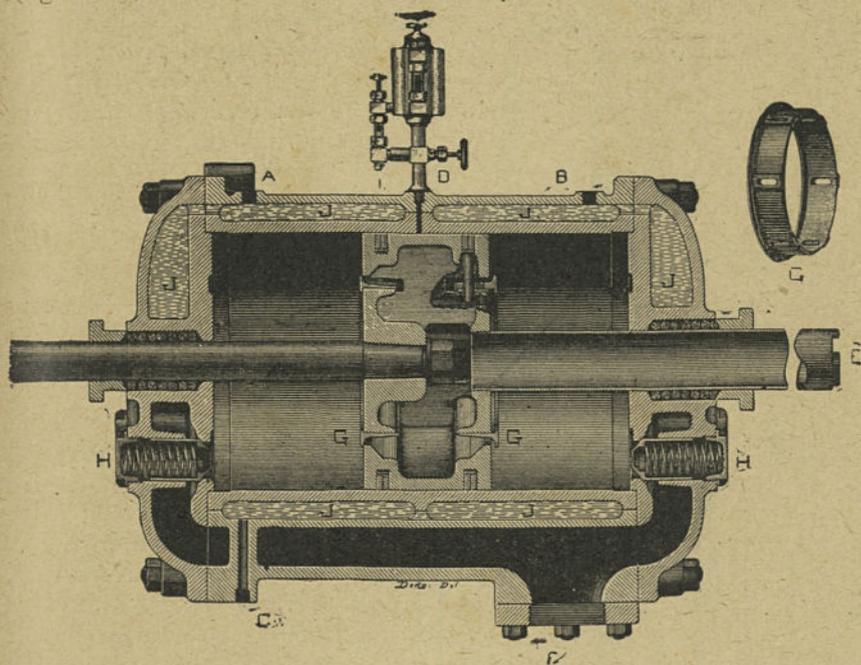


Fig. 228. — Compresseur d'air Ingersoll Rand.

ment de va-et-vient ainsi que le canal E de la tige. Lorsque le piston est arrivé au bout de sa course, il se produit un arrêt complet au moment où le piston passe le point mort, suivi d'un nouveau départ immédiat du piston dans la direction opposée. A ce moment, l'accélération est maxima et la soupape qui était ouverte, se ferme instantanément, juste au moment voulu, l'inertie propre de la pièce (m.γ) suffisant pour cela (*clapets d'inertie*). La soupape de l'autre face (soupape précédemment fermée), est, de son côté, laissée en arrière par le mouvement du piston et s'ouvre à son tour pour admettre l'air extérieur dans le bout du cylindre qu'elle regarde, où le retour du piston viendra de nouveau comprimer cet air. C'est au moment où la manivelle est au point mort, à l'instant de l'arrêt complet du piston, que la soupape glisse doucement sur son siège.

Les larges soupapes à bague pour l'admission de l'air donnent une ouverture de grande section par un faible soulèvement de la soupape. Celui-ci ne dépassant pas 6 mm. $\frac{1}{2}$, elle ne va pas assez loin pour acquérir une force vive qui puisse l'endommager ou endommager son siège lors du choc de retour et elle conserve l'étanchéité jusqu'à usure complète.

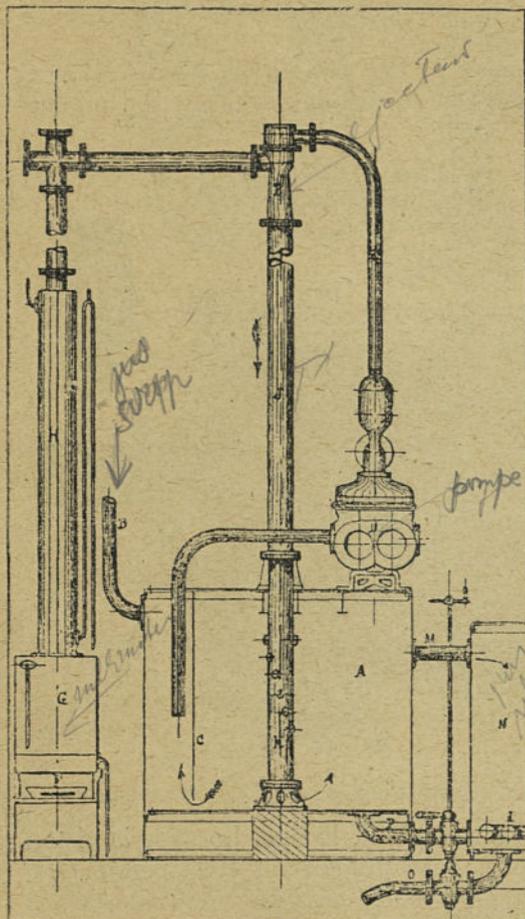


Fig. 229. -- Sulfitation continue R. Quarez.

Appareil à sulfitation continue de Quarez. —

En 1892 R. Quarez a combiné un appareil dans lequel la compression est remplacée par une aspiration d'air et où la sulfitation est continue. Avec la compression de l'air il se produit des fuites au four et lors du rechargement les ouvriers reçoivent des bouffées d'acide sulfureux qui leur rendent la respiration très pénible. Dans le système Quarez le jus ou sirop arrivant par B (fig. 229) dans un angle séparé par la cloison C, est refoulé par la pompe D à travers un éjecteur E communiquant avec le tuyau à acide sulfureux. C'est donc le liquide lui-même qui détermine l'aspiration du gaz sulfureux nécessaire à sa saturation comme le gaz d'éclairage dans un bec Bunsen

aspire l'air nécessaire à sa combustion.

L'acide sulfureux est produit dans une caisse parallélépipédique en fonte contenant une moufle ou coupelle F dans laquelle on place du soufre en canons. Au-dessus de ce four se trouve un réservoir d'eau de refroidissement. Puis vient le sublimateur G et enfin le tuyau de dégagement du gaz entouré d'un manchon H. L'eau de refroidissement suit le parcours inverse.

L'appel de l'air est également produit par l'éjecteur. Le liquide se sature de gaz sulfureux en parcourant le tuyau vertical T et arrive dans le bac A d'où il s'écoule par le tube de liquide sulfité M.

L'anhydride sulfureux $S \begin{matrix} \diagup 0 \\ | \\ \diagdown 0 \end{matrix}$ préparé par la combustion du soufre dans l'un des fours ci-dessus se transforme en acide sulfureux $S \begin{matrix} \diagup OH \\ | \\ \diagdown OH \end{matrix}$ qui agit comme ferait l'acide chlorhydrique en décomposant les combinaisons visqueuses du sucre, de l'albumine et de certains acides organiques avec les alcalis et en diminuant légèrement la viscosité des sirops. C'est en outre un antiseptique.

Pour que la sulfitation réussisse il est nécessaire d'observer certaines conditions. Nous avons dit que dans un bon travail il ne devait pas rester de chaux dans le jus de 2^e carbonatation. A moins d'avoir recours à certains agents chimiques tels que le carbonate de sodium ou la baryte, cette condition n'est presque jamais réalisable durant toute la campagne. En outre, même en l'absence de chaux, les sirops, et surtout les égouts prennent par l'accumulation des matières organiques une viscosité qui gêne beaucoup le travail de cristallisation rapide tel qu'on le pratique actuellement. L'emploi de l'acide sulfureux pour décolorer les sirops est presque aussi ancien que la sucrerie de betteraves ; on employait surtout ce gaz dans le but d'obtenir des sucres plus blancs ; ce n'est que depuis l'emploi de la cristallisation en mouvement combinée avec la rentrée des égouts que ce procédé s'est généralisé en sucrerie. On pousse la sulfitation jusqu'à une très faible alcalinité. Tant que le liquide reste alcalin, il n'y a pas de danger d'inversion même à 90° C. On peut saturer complètement et même dépasser l'alcalinité sans produire d'inversion à la condition que la température soit inférieure à 45° C. Après sulfitation, on fait bouillir fortement pour transformer les bisulfites en sulfites neutres insolubles ; puis on filtre au filtre Procksh, Kasalowsky, Philippe, ou sur sable. La sulfitation doit toujours être faite sur des liquides clairs ; si on la faisait sur des liquides troubles, par exemple des jus troubles de carbonatation, l'acide sulfureux déplaçant l'acide carbonique de ses combinaisons, il y aurait une redissolution de matières précipitées par l'acide carbonique.

Il arrive des années où l'on constate un abaissement très sensible de l'alcalinité des jus et sirops au point que l'on est obligé de supprimer la sulfitation ou bien de sulfiter presque neutre. Dans ce cas, on constate pendant l'évaporation des dégagements considérables d'ammoniac. Ce cas de rétrogradation de l'alcalinité est très fréquent en fin de fabrication ; il faut alors avoir soin de ne pas sulfiter jusqu'à l'acidité. Il semble que les betteraves riches en potasse sont, sous ce rapport, plus faciles à travailler parce que leur jus est plus franchement alcalin. Telles sont les betteraves en Allemagne.

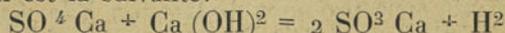
Emploi de l'acide sulfureux liquide. — Plusieurs compagnies minières de la Haute-Silésie et de la province Rhénane qui peuvent utiliser des minerais sulfureux fabriquent industriellement de l'acide sulfureux comprimé à 100 % d'acide, et les sucreries qui ne sont pas si-

tuées trop loin du lieu de production peuvent se faire livrer cet acide logé dans des bouteilles en fer. L'emploi de cet acide sulfureux est très commode, mais il coûte généralement plus cher que celui que l'on produit en brûlant du soufre dans les fours que nous avons décrits.

Hydrosulfitation (procédé Ranson). — On a tenté de compléter l'action de l'acide sulfureux par celle de l'acide hydrosulfureux $\text{SO} \begin{smallmatrix} \text{OH} \\ \text{H} \end{smallmatrix} = \text{SO}^2 \text{H}^2$ qui procure à la fois l'action de l'acide sulfureux ou sulfitation et l'action de l'hydrogène naissant, et qui agit également en décolorant, en précipitant les matières albuminoïdes, en diminuant la viscosité, en détruisant les nitrates et les ammoniacs composés, etc... On sulfite les sirops ou égouts de façon à transformer tous les alcalis libres en bisulfites avec excès d'acide sulfureux, on ajoutait 5 g. d'étain en pâte par hectolitre (le zinc qui est 7 fois moins cher est vénéneux) et on malaxait durant 15 minutes sans chauffer ; il se formait des hydrosulfites. L'opération se faisait dans des chaudières cylindriques à fond conique, munies d'un agitateur à grande vitesse. La réaction étant complète, on vidait les chaudières dans des bacs où l'on chauffait à 70-75° C pour décomposer l'excès d'acide hydrosulfureux et on filtrait.

Emploi des hydrosulfites cristallisés. — Ce procédé n'ayant pas réussi, on cherche actuellement à employer les hydrosulfites cristallisés, tel que celui de calcium.

La réaction est la suivante:



On mélange l'hydrosulfite au sirop dans le bac d'attente, à la dose de 30 à 50 gr. par hectol., on chauffe puis on filtre.

CHAPITRE XIII

CUITE (Verkochen ; Boiling ou cooking ou graining)

Le sirop est ensuite concentré au point de cristallisation, c'est-à-dire au point où la majeure partie du sucre se sépare sous forme de cristaux, tandis que la majeure partie du non-sucre reste avec un peu de sucre en dissolution. La cuite peut se faire de deux manières différentes :

Cuite au filet (Blanck Kochen, Boiling to string). — On arrête l'évaporation dès que la solution sucrée accuse l'épreuve au filet, c'est-à-dire qu'une goutte prise entre le pouce et l'index qu'on écarte ensuite brusquement forme un fil qui se casse en se recourbant. On laisse ensuite cristalliser lentement à une température modérée suffisante pour maintenir la masse fluide.

Cuite en grains. (Kochen auf Korn ; Boiling to grain). — Généralement, aujourd'hui, on laisse la cristallisation s'opérer en majeure

partie dans l'appareil même, pendant qu'on continue l'évaporation ; c'est la cuite en grains.

Appareil à cuire en grains. (Vakuum Koch apparat ; Vacuum pan).
— L'appareil à cuire en grains avait autrefois la forme d'une sphère, qui est théoriquement celle qui résiste le mieux à la pression de l'air

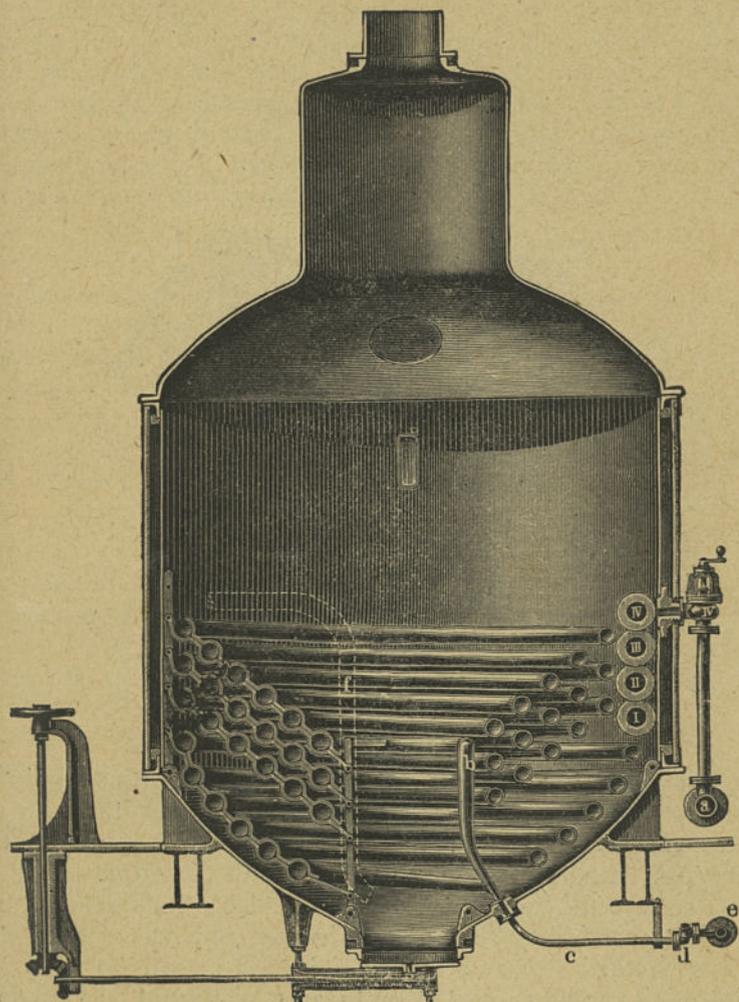


Fig. 230. — Appareil à cuire ordinaire (Hallesche Maschinenfabrik).

extérieur, et cette forme a été conservée longtemps en Allemagne et en Autriche. En France, on a adopté depuis très longtemps des chaudières cylindriques et c'est cette forme qui tend maintenant à prévaloir dans tous les pays sucriers.

La chaudière à cuire se compose d'une calandre en fonte ou en fer, portant à sa partie inférieure une calotte sphérique ou un cône tron-

qué portant des bracons par lesquels elle repose sur des sommiers et munie en son centre d'une porte pour l'écoulement de la masse cuite ; à sa partie supérieure, elle est fermée par une autre calotte surmontée d'un dôme d'où part le tuyau de dégagement des vapeurs (Fig. 230).

A l'intérieur de cette chaudière, se trouvent 5 ou 6 serpentins I, II, III, IV, recevant la vapeur pour le chauffage. Le serpentín du bas est logé dans la calotte dont il épouse la forme ; les autres s'enroulent à des distances à peu près égales. Tous les serpentins sont munis de valves placées à l'extérieur de la calandre à peu près à mi-hauteur et à la portée du cuiseur ; dans les anciens montages, ils se raccordent tous sur un collecteur commun recevant la vapeur des générateurs, ayant 3 ou 4 fois la section d'un serpentín et muni d'une grosse valve

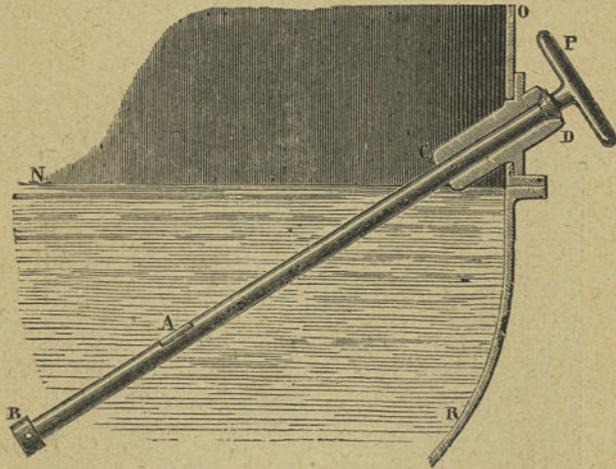


Fig. 231. — Sonde d'épreuve.

pour l'admission de la vapeur. A leur extrémité, les serpentins s'amincissent (bc), et sortent de l'appareil pour se relier aux tuyaux de purge. Un clapet de retenue *d* placé immédiatement à la sortie de chaque serpentín empêche tout retour en arrière de l'eau dans les serpentins. La surface de ces serpentins est calculée en admettant un coefficient de transmission de 100 calories par mq., par heure et par degré de chute, à cause de la viscosité de la masse. Le sirop à cuire est introduit par un robinet et un tuyau *f*, plongeant au fond de l'appareil (fig. 230). Une sonde *P* sert à prélever des échantillons de la masse cuite. C'est une longue tige en bronze glissant à frottement doux dans une armature en bronze boulonnée sur la partie inférieure de la calandre *O* ; elle porte une manette *P*, une encoche *A* et un écrou *B* servant de butoir qui empêche le cuiseur de sortir complètement la sonde (Fig. 231).

Des lunettes en verre très épais règnent sur toute la hauteur de la

calandre et permettent de constater *de visu* ce qui se passe dans l'appareil.

Les tuyaux de chauffage des appareils à cuire sont aujourd'hui souvent en fer ; ils présentent sur les tubes en laiton ou en cuivre l'avantage d'être moins attaqués par l'ammoniaque. L'inconvénient des tubes en fer dans les appareils d'évaporation de présenter un plus faible coefficient de conduction a ici encore moins d'importance, car ce coefficient de transmission est ici assez faible. Dans les appareils à cuire, les gaz ammoniacaux ont sur les tubes de chauffage une action plus pernicieuse que sur les tubes d'un appareil d'évaporation parce que le mouvement de la vapeur de chauffage est, dans les appareils à cuire, à la fin de la cuite, assez faible et que, par conséquent, les gaz ammoniacaux y restent plus longtemps et peuvent s'accumuler par endroits.

Comme vacuomètre, il faut un appareil à mercure. On doit avoir au moins 2 appareils à cuire de façon à ne pas rendre trop irrégulière la consommation de vapeur de jus pour la cuite. La surface de chauffe doit être aussi grande que possible de façon à pouvoir évaporer rapidement au début de la cuite et à permettre l'utilisation de vapeur à très basse tension. Les appareils de 20, 50 tonnes de masse cuite tels qu'on les fait actuellement ont 80-150 mq. de surface de chauffe.

Marche de la cuite en grains. — On met la pompe à air en mouvement et on aspire du sirop dans la chaudière, de façon à couvrir le premier serpentín. On évapore sous un vide de 50 à 55 cm. de mercure (pression absolue de 26 à 21 cm. température d'environ 60° C.) et on remplace au fur et à mesure l'eau évaporée par une nouvelle quantité de sirop. Bientôt, on a dans l'appareil une quantité de sirop couvrant le 1^{er} serpentín et accusant l'épreuve du point de cuite. On fait l'épreuve au filet ou bien on étale sur une glace un peu de liquide qui devient laiteux.

On ferme alors la soupape d'entrée de sirop et on ouvre plus fortement la valve d'entrée d'eau au condenseur, ce qui augmente brusquement le vide et détermine une évaporation très rapide. Le liquide qui se trouve dans l'appareil est fortement sursaturé. A ce moment, on injecte dans l'appareil du sirop chaud en volume égal au 1/30^e environ de ce qui existe dans l'appareil. L'état de sursaturation (Voir plus loin) est détruit (ou du moins fortement diminué) en même temps qu'une vive évaporation abaisse de plusieurs degrés la température du sirop, et il se produit une abondante formation de cristaux. En étalant un peu de liquide sur une lame de verre, on voit nettement les cristaux. Le grainage réussit généralement après 2 injections. La masse grainée forme ce qu'on appelle le *ped de cuite*.

On a modéré un peu le vide pour avoir à ce moment une dépression de 45 à 50 cm.

Le cuiseur alimente ensuite de sirop par charges pendant une demi-

heure à une heure pour développer la grosseur des cristaux (nourrir le grain). Il a soin de renouveler la charge avant que le point de concentration soit remonté aussi haut qu'au moment de grainer ; il évite aussi une sursaturation trop notable qui produirait de nouveaux grains. Il a soin également de ne pas charger trop de sirop à la fois, ce qui redissoudrait le grain formé.

Après ce temps d'alimentation discontinue, le grain est assez gros pour que l'on puisse faire l'alimentation continue, par l'ouverture progressive du robinet d'aspiration du sirop. S'il arrive que la concentration soit trop forte (le cuiseur dit que la cuite se serre trop ; la sursaturation est trop forte), il se forme de nombreux cristaux très fins et les gros cristaux ne grossissent plus. Il faut alors se débarrasser des fins cristaux en les dissolvant. Pour cela, on diminue le vide de 5 à 6 cm., ce qui provoque le réchauffement de la masse et on injecte une forte charge de sirop, la sursaturation est ainsi détruite et les petits cristaux disparaissent (les gros ne sont que très peu attaqués). Le sirop qui entoure les gros cristaux étant redevenu bien clair, on fait remonter très lentement le vide à son joint normal, et on concentre sans alimenter jusqu'à ce que la masse ait repris la consistance voulue, ce que les cuiseurs savent très bien apprécier d'après l'apparence des bulles contre les regards en verre et l'aspect du sirop sous les bulles. Le contenu de la cuite augmente et couvre successivement le 2^e, puis le 3^e serpentin. A mesure qu'un serpentin est couvert, on y admet de la vapeur. L'évaporation devenant très abondante, on ouvre davantage la communication avec le condenseur. A mesure que la concentration augmente, il faut que la tension de la vapeur augmente également dans l'organe de chauffage, et, pour éviter la caramélisation, il faut également augmenter le vide. On commence avec de la vapeur à 1 kilo effectif (température 120° C.), puis on monte à 2 kilos. Au moment où l'évaporation est terminée et que la cristallisation va commencer, la pression atteint 3, 4 à 5 kilos. Quant au vide, si l'on graine avec 50 cm., on le fait monter d'environ 5 cm. de mercure par mètre d'emplissage. Quand la grosseur des cristaux est régulière, on serre la cuite en augmentant le vide jusqu'à 62 à 65 cm. (pression de 14 à 11 cm). L'appareil est alors plein et on cesse l'alimentation. On diminue l'afflux de la vapeur de chauffage pour n'avoir plus que 1 kilo de pression dans les serpentins du bas qui sont à haute pression, sans diminuer l'eau au condenseur, ce qui fait monter le vide à 65 cm. On interrompt ensuite l'arrivée de vapeur dans les serpentins, on arrête l'eau au condenseur et ensuite la pompe à air, on casse le vide en enlevant un bouchon à vis qui se trouve sur la calandre pour laisser rentrer l'air ; enfin, on ouvre la porte inférieure pour évacuer le contenu qui prend le nom de *masse cuite*.

Cristallisation en mouvement (Kristallisation in Bewegung ; Cristallisation in motion). — Nous avons exposé les deux principales mé-

thodes de cuite et cristallisation ; la *cuite au filet* et la *cuite en grains*. Il existe une 3^e méthode de cristallisation : la *cristallisation en mouvement*, basée sur les expériences de Wulff, dont la plus curieuse est la suivante (1884) :

Dans un ballon en verre on met du sucre candi brun, on réchauffe vers 55-60° C. et on le recouvre d'une solution sucrée incolore et saturée à la même température. On entoure le ballon d'un linge afin de ralentir le plus possible le refroidissement et on le fait tourner de façon que le sucre et la solution aient constamment un mouvement assez énergique. Au bout d'une heure, on retire la toile et on laisse encore refroidir pendant 1 heure ou deux. En décantant ensuite l'eau mère, on trouve que les cristaux ont augmenté de volume : une couche incolore entoure les cristaux bruns.

Pour obtenir de gros cristaux, les cristaux servant d'amorce doivent être constamment mis en contact avec de nouvelles parties de la solution, et quand celle-ci est épuisée, elle doit être remplacée par une autre renfermant du sucre en état de cristalliser.

Par l'emploi de la cristallisation en mouvement on peut donc retirer du sucre de sirops impurs. On se sert d'abord de ce procédé pour extraire le sucre des bas produits ; plus tard on l'employa également pour les premiers jets.

On conseillait autrefois une cuite tranquille, parce que l'on croyait que les cristaux de sucre souffrent d'une cuisson tumultueuse. En réalité, d'après Wulff, cet inconvénient ne se produit pas par suite de la rapidité du mouvement, mais bien parce que, par suite de l'évaporation plus ou moins rapide, il se forme de fins cristaux (farine) à côté de cristaux plus gros.

Ces idées n'étaient pas tout à fait neuves, car les anciens Egyptiens employaient des agitateurs qui tenaient en mouvement la masse sucrée bouillante et devaient favoriser la cristallisation, qu'on savait favoriser par l'addition de sucre achevé.

En 1887, Karl Steffen fit breveter le lavage méthodique des sucres et des masses cuites par des *clairces* de plus en plus pures. Ces clairces étaient ensuite cuites systématiquement en commençant la cuite avec les plus pures et finissant avec les plus impures. Ce procédé était excellent, mais il exigeait un matériel compliqué et très coûteux. Il n'est guère employé qu'en raffinerie.

En 1888, deux Allemands, Stammer et Böck, ayant acheté les brevets de Wulff, eurent l'idée d'appliquer le mouvement à la cristallisation de tous les produits de la fabrication du sucre et ils adoptèrent pour cela des cristallisoirs en forme de pétrin.

En 1889, Huch et Lauke inventèrent un système de cristallisoir clos muni d'un dôme et dans lequel on produisait le vide par le condenseur et la pompe à air.

En 1894, Raeymackers énonça le principe suivant :

Le maximum d'épuisement d'une masse cuite s'obtient en y laissant le minimum d'eau, et il indique deux voies pour y arriver : 1° Diminuer l'eau ; 2° Augmenter le non-sucre.

La même année Manoury montra aux fabricants que dans la cuite en grains de 1^{er} jet, on n'a pas besoin de faire toute la cuite avec du sirop vierge très pur, et qu'après avoir fait des cristaux assez gros avec du sirop pur, on peut achever de les nourrir avec un sirop dont la pureté n'est que peu supérieure à celle de l'eau-mère qui les entoure. Le sucre blanc obtenu ne diffère guère comme nuance, du sucre venant de sirop pur et il se vend tout aussi bien. Le rendement en sucre blanc 1^{er} jet se trouve donc augmenté. A plus forte raison, si l'on ne fait que du sucre roux en 1^{er} jet, on peut rentrer beaucoup d'égouts dans la cuite. Il suffit de couper le travail de temps en temps quand la cristallisation dans l'appareil à cuire devient difficile.

En 1897, Claassen publia sur la cristallisation et la sursaturation des sirops de sucreries une importante étude qu'il compléta plus tard, et que nous résumons plus loin d'après la dernière édition de son ouvrage : *Die Zuckerfabrikation*.

Malaxage de la masse cuite 1^{er} jet (Maischen ; Strike Mixing). — Autrefois la masse cuite, en sortant de l'appareil à cuire, était mise dans un bac plat en tôle où elle se refroidissait en attendant le traitement mécanique qui devait en séparer le sucre. Ce système était très défectueux. Au sortir de l'appareil à cuire, cette masse cuite continue de cristalliser par le refroidissement ; mais cette cristallisation est entravée par l'immobilité de la masse.

En 1880, M. Bocquin imagina un appareil pour refroidir la masse cuite pendant qu'on la maintient en mouvement avant de procéder à la séparation du sucre (turbinage). C'était un bac en forme de pétrin dans l'axe horizontal duquel tournait un agitateur à lames hélicoïdales mis en mouvement par une poulie et un engrenage à vis sans fin. Une double enveloppe permettait de refroidir par circulation d'eau froide. Cet appareil ne se répandit d'abord pas en sucrerie ; plus tard il fut employé pour la cristallisation en mouvements des arrière-produits ; actuellement il est très employé pour le travail auquel l'inventeur l'avait destiné.

Malaxeurs de masse cuite (Sud ou Kochmaische ; Strike Mixers). — Ces malaxeurs se font à simple ou à double enveloppe. La fig. 232 représente un malaxeur de masse cuite à double enveloppe avec circulation d'eau froide. Le malaxeur comprend un arbre en fer muni de pièces en fer en forme d'ellipse inclinées de telle façon qu'en tournant elles décrivent un cercle. L'arbre est commandé par une roue à vis sans fin engrenant avec une vis sur l'arbre de laquelle sont calées les poulies de commande. La vis tourne dans un bac en fonte

constamment plein d'huile. Si l'on veut réchauffer la masse cuite, par exemple quand elle devient trop visqueuse, on peut vider l'eau froide et envoyer à sa place de la vapeur ou de l'eau chaude.

Les malaxeurs à simple enveloppe s'emploient généralement pour les premiers jets ; ceux à double enveloppe, avec circulation d'eau froide, d'eau chaude ou de vapeur, s'emploient pour les 2^{es} jets et les bas produits. Dans les malaxeurs de la Compagnie de Fives-Lille,

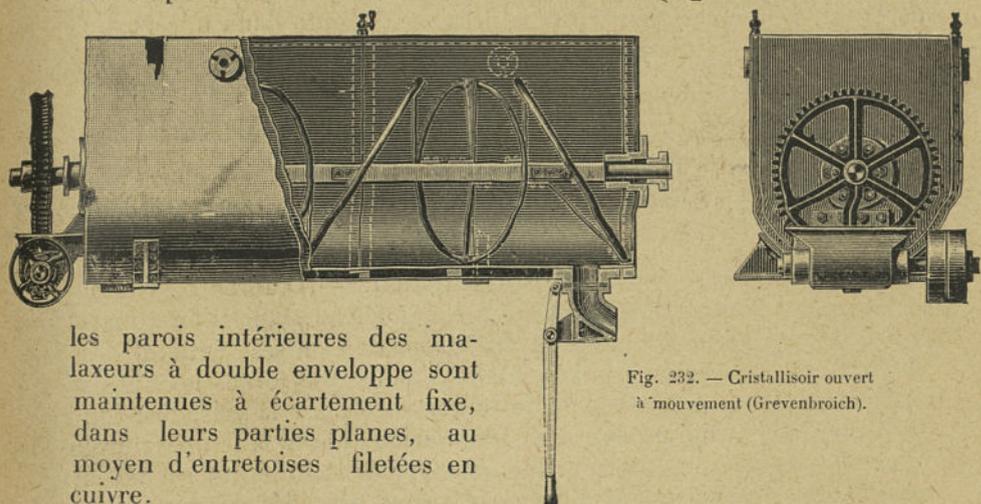


Fig. 232. — Cristalliseur ouvert à mouvement (Grevenbroich).

les parois intérieures des malaxeurs à double enveloppe sont maintenues à écartement fixe, dans leurs parties planes, au moyen d'entretoises filetées en cuivre.

Dans le malaxeur Ragot, l'arbre porte un serpentín garni de palettes.

Théorie moderne de la cuite (1)

L'art du cuiseur consiste à former dans le sirop le nombre voulu de cristaux et ensuite à développer ces cristaux sans en former de nouveaux en proportion notable.

Sursaturation (Uebersättigung ; Supersaturation)

Pour qu'une solution sucrée donne des cristaux et que ces cristaux puissent se développer, elle doit être sursaturée. Une solution sucrée est saturée quand, la température restant constante, elle refuse de dissoudre une nouvelle quantité de sucre et n'en laisse pas se séparer par cristallisation. La quantité de sucre qui peut se dissoudre dans une partie d'eau est d'autant plus grande que la température est plus élevée. Si l'on prend une solution sucrée saturée et qu'on l'évapore à la température de la saturation, le sucre ne se sépare pas immédiatement, mais il reste d'abord en solution et le liquide est sursaturé. Plus la solution sursaturée est pure et plus elle renferme de cristaux servant de point d'attraction, plus l'excédent de sucre se sé-

(1) Pour la théorie de la cuite nous avons reproduit en entier les idées de H. Claassen, d'après son magistral ouvrage : *Die Zuckerfabrikation* (1908).

pare rapidement ou se dépose sur les cristaux en présence. Les solutions impures mettent un temps notablement plus grand avant de commencer à cristalliser ; elles peuvent et doivent même être d'autant plus sursaturées, pour séparer des cristaux ou les laisser s'accroître, qu'elles renferment plus de non-sucre.

Coefficient de sursaturation. — Si l'on appelle s la quantité de sucre qui, à une certaine température, est dissoute dans une partie d'eau dans une solution saturée et par S la quantité de sucre qui, à la même température, est dissoute dans une partie d'eau dans la solution sursaturée, le rapport $\frac{S}{s}$ est le coefficient de sursaturation, c'est-à-dire le chiffre exprimant combien de fois, pour une partie d'eau, il y a plus de sucre dans la solution sursaturée que dans la solution saturée à la même température.

Importance du coefficient de sursaturation. — D'après H. Claassen (1) ce coefficient de sursaturation a , pour la cristallisation du sucre, qu'il s'agisse de la cuite ou du travail de la masse cuite et des sirops, a une importance fondamentale. Tandis que toutes les autres circonstances qui ont une grande importance pour la cristallisation du sucre, la viscosité notamment, sont variables avec la température, le coefficient de sursaturation est complètement indépendant de la température. Donc que la cuite ou d'autres procédés de cristallisation soient conduits à une température plus élevée ou plus basse, les coefficients de sursaturation les plus favorables à la formation et à la nutrition des cristaux sont, dans les limites pratiques des températures, toujours les mêmes pour des sirops de même pureté ; par contre, ces coefficients varient suivant la pureté. De plus, le coefficient de sursaturation doit être plus élevé pour la formation des cristaux nouveaux (le grainage) et plus petit quand la solution renferme des cristaux qui facilitent la cristallisation.

Pour obtenir une cristallisation régulière, la sursaturation et par suite la température, à laquelle elle est étroitement liée, doit être la même en tous points de la masse en cristallisation. Pendant la cuite, la sursaturation est modifiée d'abord par l'évaporation au contact de la surface de chauffe, en sorte qu'il se produit là facilement une masse plus fortement sursaturée qui pourrait facilement produire de petits cristaux ; au contraire, à l'endroit où entre le sirop, la sursaturation est complètement détruite et une partie des cristaux formés peuvent être redissous, quand le sirop n'est pas immédiatement réparti dans toute la masse et mélangé au sirop sursaturé qui environne les cristaux. Il faut donc que la masse circule rapidement dans l'appareil.

(1) *Die Zuckerfabrikation* (3^e édition, 1908).

Conditions que doit remplir l'appareil. — Il faut donc que la construction de l'appareil et la disposition des serpentins n'offrent pas une difficulté notable à cette circulation. Aucune construction spéciale ne peut provoquer la circulation, mais les bulles de vapeur qui montent peuvent fournir les efforts mécaniques nécessaires pour cela. Malheureusement, la production de vapeur sur les surfaces de chauffe est la plus faible juste au moment où le mouvement de la masse devrait être le plus grand, c'est-à-dire à la fin de la cuite. On a donc imaginé certains dispositifs qui se sont montrés très avantageux et par lesquels on donne à chaque moment à la masse cuite un mouvement que l'on peut régler à volonté. On a employé avec succès pour les arrière-produits des malaxeurs, des hélices, etc., pour les masses cuites de 1^{er} jet, on a monté des hélices dans les appareils, mais dans certaines usines, on les a abandonnées, pour ne conserver que le mouvement naturel.

Pour mélanger le plus rapidement possible le sirop aspiré à la masse cuite, on l'introduit par le bas finement divisé ; en montant, par suite de sa plus faible densité, il se mélange à la cuite. Ce mélange est beaucoup accéléré quand le sirop est aspiré très chaud, en sorte que sa température est au-dessus de celle de la masse en cuisson. En entrant dans l'appareil, où existe un vide relatif, il donne brusquement une grande quantité de bulles de vapeur qui contribuent à un mélange rapide. Le sirop ne doit jamais être aspiré à une température inférieure à celle de l'ébullition dans l'appareil, car alors non seulement le mélange se fait plus difficilement, mais la masse cuite est refroidie et il se produit du grain fin.

Degré de sursaturation convenable. — Pour que le grain se produise, le sirop doit être sursaturé. Aussitôt que la sursaturation atteint une certaine limite, des cristaux se séparent. Pour avoir de bons cristaux, on a reconnu l'avantage de provoquer leur formation par une injection brusque de sirop. Plus le sirop est sursaturé et plus le mouvement est intense, plus les cristaux se forment rapidement et nombreux. Toutes choses égales d'ailleurs, il faut concentrer le pied de cuite d'autant moins et aspirer d'autant moins de sirop, que l'on veut former moins de grains. Comme plus petit coefficient de sursaturation pour le grainage dans des sirops de 90-92 de pureté, on peut prendre pratiquement le chiffre 1,2. Avec un coefficient plus petit, il faut un temps trop long pour former une quantité de grains suffisante et on s'expose à ce que les cristaux, lors de l'injection de sirop, soient en partie refondus. Le plus haut coefficient de sursaturation devrait être de 1,5 à 1,6 ; avec un chiffre plus élevé on s'expose, même par une seule charge de sirop, à obtenir trop de cristaux.

Le chiffre de la sursaturation indique combien de fois le sucre est plus soluble dans 100 parties d'eau renfermée dans un sirop que dans l'eau pure, toutes conditions égales d'ailleurs.

Conduite de la cristallisation. — Une fois qu'on a ainsi produit le nombre de grains voulu, il faut conduire la cristallisation de façon à développer ces cristaux sans en former d'autres. Aussi longtemps que les cristaux sont encore petits et n'offrent que des surfaces relativement faibles pour le dépôt du sucre qui se sépare, le sirop ou eau mère qui entoure les cristaux ne doit être que peu sursaturé ; en effet, ce sirop ayant encore approximativement la pureté du sirop vierge, il a aussi, même avec un coefficient de sursaturation de 1,2 et avec le mouvement produit par l'aspiration du sirop, la propriété de former de nouveaux cristaux. Ce coefficient de 1,2 ne doit donc pas être dépassé et il est même plus sûr de ne pas l'atteindre. La suite de la cuite peut se faire de 2 manières : par charge continue ou par charges successives. Dans le 1^{er} cas, on règle la valve d'alimentation de façon qu'il entre exactement la quantité de sirop nécessaire pour maintenir constamment l'eau mère au coefficient de sursaturation donné ci-dessus de 1,1 en moyenne. Dans le 2^o cas, on fait une charge chaque fois que le coefficient de sursaturation a atteint 1,2 et on la continue jusqu'à ce que la sursaturation ait presque complètement disparu, c'est-à-dire que le coefficient de sursaturation soit tombé presque à 1,0. Mais on ne peut jamais diluer l'eau mère en dessous du point de saturation, parce que l'on redissoudrait des cristaux déjà formés. Quel que soit le mode de chargement, les coefficients de sursaturation doivent être maintenus plus bas quand on cuit lentement que lorsque l'on cuit rapidement.

Ce n'est que dans le cas où l'on a séparé trop de cristaux lors de la formation du pied de cuite ou lorsque l'on a plus tard laissé se produire de nouveaux grains fins, que l'on peut charger suffisamment de sirop pour que l'eau mère descende en dessous du point de saturation et ainsi redissoudre les cristaux en excès. Dans ce cas on produit souvent cette dilution non par du sirop, surtout quand celui-ci est déjà à haute densité, mais en aspirant de l'eau chaude. Celle-ci est parfois nécessaire, principalement à la fin d'une cuite, pour bien terminer la cuite.

La cuite se continuant, les cristaux grandissent et la pureté de l'eau mère baisse. Il est donc alors non seulement permis, mais même avantageux de laisser le coefficient de sursaturation de l'eau mère monter à 1,2, et même progressivement plus haut jusqu'à ce que finalement, au moment de la dernière charge, il atteigne 1,3.

L'art du cuiseur consiste à savoir toujours trouver le coefficient de sursaturation convenable et de le maintenir dans la masse, en se servant comme guides de l'épreuve au filet, de la façon de couler des échantillons de masse cuite, de la température et de la transparence de l'eau mère entourant les cristaux. La plupart des cuiseurs cuisent par charges discontinues, parce que cette méthode est plus sûre quand

le vide dans l'appareil et la pression dans le serpentin de chauffage varient souvent, comme c'est généralement le cas. Mais quand le vide et la pression restent constants et que le sirop a une densité constante, l'alimentation continue est plus simple.

Durée de la cuite. — L'admission de vapeur doit être réglée de façon que l'évaporation de l'eau ne soit pas trop rapide, afin qu'après chaque aspiration de sirop le sucre ait réellement le temps de se déposer par couches sur les cristaux déjà formés et que la pureté de l'eau mère s'abaisse d'une façon tout à fait régulière. La durée de la cuite ne peut être abrégée qu'au détriment du rendement, ou bien alors par un travail subséquent de la masse cuite dans des cristallisoirs ouverts ou fermés, de façon à compenser ce qui a été négligé dans l'appareil à cuire. On doit donc adopter comme règle, de cuire aussi lentement que possible. Une cuite ne doit pas, en tout cas, durer moins de 6 à 8 heures, et le meilleur appareil n'est pas celui qui permet de faire une cuite en quelques heures, parce que l'action favorable du temps ne peut être remplacée par aucune construction. Pour soustraire le cuiseur à la tentation à laquelle il est toujours exposé, en présence d'appareils à grande surface de chauffe, de cuire trop rapidement, de tels appareils devraient toujours être chauffés avec des vapeurs à tension aussi basse que possible, ce qui est d'ailleurs toujours avantageux au double point de vue de l'économie de vapeur et d'une moindre décomposition de sucre.

Le grainage doit être commencé avec un volume de liquide ne dépassant pas le $\frac{1}{4}$ ou le $\frac{1}{3}$ du volume total de la cuite, afin que, dans la suite de l'opération, les cristaux aient le temps de grossir.

Une masse cuite bien faite doit contenir une eau mère de 80-82 % de pureté. Quand on prolonge beaucoup la durée de la cuite, on peut se demander si une cristallisation poussée si loin dans l'appareil à cuire, sans addition de sirop, est avantageuse et s'il ne serait pas préférable de continuer le travail de la masse cuite dans des cristallisoirs spéciaux.

Serrage de la cuite. — Après la dernière charge de sirop, on procède au serrage de la cuite. La façon dont cette opération doit être conduite dépend du travail subséquent.

Aujourd'hui, la masse cuite est reçue dans des cristallisoirs dans lesquels on règle soigneusement le refroidissement et la concentration de l'eau mère. Dans ce cas, il faut absolument éviter en serrant la cuite dans l'appareil à cuire, de former de nouveaux cristaux à côté des gros cristaux. Le coefficient de sursaturation de l'eau mère ne doit pas dépasser 1,3, même pendant le serrage. Comme l'eau mère a déjà, après la dernière charge de sirop, un coefficient de sursaturation voisin de ce chiffre, il ne pourrait plus être question de serrage si l'on ne pouvait recourir à d'autres moyens. Par exemple, après la

dernière charge de sirop, on aspire peu à peu du sirop d'égout légèrement dilué et chaud provenant du travail précédent et dans lequel il n'existe plus de grains fins. On dilue ainsi l'eau mère ; en cas de besoin, cette dilution peut être telle que du grain fin, qui se serait formé dans la masse cuite, soit redissous. On peut alors continuer lentement la cuite. Quand le coefficient de l'eau mère est de nouveau monté à 1,3, on ajoute chaque fois du sirop nouveau et cette cuisson avec égout est continuée durant 1 à 2 heures. Plus longtemps la cuite est ainsi continuée, plus le sucre se dépose sur les cristaux déjà formés. Le sucre qui se dépose ainsi sur les cristaux ne provient pas de l'égout ajouté, mais uniquement de l'eau mère qui était présente avant le serrage et avait une pureté de 80 et davantage. L'égout ajouté a toujours une pureté notablement moins élevée et il est, après le travail des cristallisoirs, rejeté des turbines avec la pureté qu'il avait au moment d'être aspiré dans la cuite. L'emploi de cet égout n'est qu'un moyen pour envoyer de l'eau dans la masse cuite et prolonger ainsi la cuite et enfin un moyen pour augmenter la quantité d'eau mère, rendre la masse plus fluide, faciliter ainsi la cristallisation dans l'appareil à cuire et les cristallisoirs et faciliter le travail de la masse cuite aux turbines.

Accidents à la cuite. — Deux accidents se présentent parfois à la cuite :

1° *La cuite est mousseuse.* — Ce phénomène est souvent dû à des fermentations qui s'établissent dans les sirops par suite d'un manque de propreté. On le fait disparaître par un travail plus soigné. On abat les mousses en introduisant des corps gras dans l'appareil par un robinet dit robinet à beurre.

2° *La cuite est grasse.* — Dans ce cas la masse, à partir d'une certaine concentration, cesse de bouillir malgré le passage de la vapeur dans les serpentins, et présente l'aspect d'une matière grasse en fusion. La masse primitivement blonde prend une nuance brune par suite d'un commencement de caramélisation. Cet accident est dû à la présence de sels de calcium dans les sirops ; ces sels de calcium augmentent la viscosité de la masse et produisent sur les serpentins des incrustations qui diminuent beaucoup le coefficient de transmission de la chaleur.

On peut pallier cet accident en neutralisant avec précaution la masse par l'acide chlorhydrique dans l'appareil même ; on l'évite également par un travail soigné à l'épuration et par l'emploi du carbonate de sodium à la 2° carbonatation.

Cet accident peut être également attribué à la présence d'une forte proportion de matières organiques, notamment celles qui proviennent des matières pectiques de la betterave. Cela revient au même, car les sels de calcium se rencontrent surtout en abondance

lorsque les matières organiques s'accablent dans les jus et sirops par suite de la mauvaise qualité des betteraves.

La présence des sels de calcium jusqu'à une certaine limite n'entraîne pas toujours une cuite difficile. Ainsi les sels de calcium résultant de la destruction du sucre inverti et des matières azotées par la chaux caustique, ne nuisent pas à la cuite et ils ont l'avantage d'être moins mélassigènes que les sels correspondants de sodium. Tous les sels de calcium ne peuvent donc pas être considérés comme occasionnant une cuite grasse et la présence de sels de calcium ne permet pas de conclure que la cuite sera mauvaise.

Les matières organiques qui rendent la cuite difficile et qui peuvent être en partie combinées à la chaux, sont généralement des matières qui ont été dissoutes à la diffusion quand on traite des betteraves incomplètement mûres ou de mauvaise qualité. Leur proportion augmente quand l'extraction se fait lentement et à température élevée. On peut, dans ce cas, éviter la cuite grasse, du moins en partie, en accélérant le travail de la diffusion. C'est surtout quand on liquide la batterie à la fin de la semaine que l'on dissout beaucoup de non-sucre ; aussi les dernières cuites sont-elles plus sujettes à être grasses. Les sirops renfermant de l'alcalinité calcique, c'est-à-dire contenant du sucrate de calcium, cuisent toujours difficilement ; aussi doit-on toujours bien saturer les sirops. Puisque le sucrate de calcium est si nuisible à la cuite, on peut en tirer cette conclusion que ce sont surtout les sels de calcium dont l'acide organique a un poids moléculaire élevé, qui sont les plus nuisibles et à cette classe appartiennent principalement les produits pectiques.

Comme remède contre la cuite grasse, on conseille, outre les modifications au travail de la diffusion, l'addition de carbonate de sodium ou de sulfite acide de sodium ($\text{SO}_3 \text{HNa}$) pour transformer les sels de calcium en sels de sodium. Quoique ce procédé ne réussisse pas toujours, il est néanmoins recommandable. Le mieux est de l'ajouter au sirop ou au jus, afin de pouvoir profiter de la filtration pour séparer le carbonate ou le sulfite de calcium qui se forme. Il n'est pas nécessaire de décomposer tous les sels de calcium ; il suffit, quand ce remède est réellement efficace, d'ajouter un quart ou la moitié de la dose théorique calculée ; les sels de calcium nuisibles semblent être décomposés les premiers.

Un autre moyen, qui donne de bons résultats dans tous les cas de cuite grasse, d'après H. Claassen, est le mouvement artificiel de la masse dans l'appareil et particulièrement celui qui est obtenu par une injection de vapeur que l'on fait arriver par un système distributeur dans la partie la plus basse de l'appareil.

Conditions à réaliser pour avoir un travail rationnel à la cuite. — Pour avoir un travail rationnel de la masse cuite, il faut régler systématiquement sa température et sa concentration ; c'est le seul

moyen d'arriver à un rendement en sucre assez grand et d'abaisser suffisamment le quotient de pureté de l'égout. Ce travail repose sur ce principe que dans un sirop qui n'est pas trop fortement sursaturé, le sucre ne peut cristalliser que s'il y a un nombre assez grand de cristaux servant de points d'attraction, et qu'un sirop saturé ou faiblement sursaturé, devient fortement sursaturé par le refroidissement. Le problème à résoudre est donc de conduire le refroidissement de telle façon que le coefficient de sursaturation de l'eau mère ne franchisse jamais la limite au-dessus de laquelle il se forme de nouveaux cristaux et que, d'autre part, il soit assez rapide pour que le coefficient de sursaturation, soit de 1,05 à 1,0, parce que, si ce coefficient de sursaturation est trop faible, la cristallisation est trop lente. La cristallisation de la masse cuite sortante se produit d'abord parce que l'eau mère est plus ou moins sursaturée et ce n'est que lorsque, après un certain temps, la sursaturation a diminué, que la cristallisation est provoquée par le refroidissement. La condition essentielle pour tout le travail est que la température et la concentration soient les mêmes en tous les points de la masse cuite, c'est-à-dire que la masse soit suffisamment remuée.

On croit généralement que le mouvement favorise directement la cristallisation ; c'est une erreur. Il n'y a que les particules sucrées qui se trouvent dans le voisinage immédiat des cristaux qui peuvent se déposer sur ceux-ci, par cristallisation. Si la couche d'eau mère qui entoure un cristal est épuisée, elle est devenue moins concentrée, et il se produit des phénomènes de diffusion entre elle et les couches voisines. Plus les circonstances sont favorables à cette diffusion, plus la cristallisation est rapide. Le plus grand obstacle à cette diffusion étant la *viscosité*, toutes les circonstances qui diminuent celles-ci, augmentent la rapidité de la cristallisation. Or, la viscosité augmente énormément avec le coefficient de sursaturation et avec l'abaissement de température. Donc, il est très important de maintenir, pendant la cristallisation, un coefficient de sursaturation pas trop élevé et une température convenable.

Influence du mouvement. — Le mouvement n'a aucune influence directe sur tous ces phénomènes ; il régularise simplement la température et la densité de la masse. Ce résultat a naturellement une grande importance, car il empêche la formation de nouveaux cristaux et en même temps, il répartit uniformément dans la masse ceux qui existent.

Pour le travail des masses cuites, on emploie des cristallisoirs. Quand ceux-ci sont placés en contre-bas de l'appareil à cuire, la masse cuite y arrive par des caniveaux ; s'ils sont placés à la même hauteur ou plus haut, il faut l'élever par l'air comprimé ou par le vide que l'on produit dans les cristallisoirs s'ils sont du type fermé. Il n'est pas recommandable d'employer des pompes pour les masses

cuites de premier jet, parce qu'elles se refroidissent par trop dans les conduites et peuvent devenir mousseuses.

On peut travailler de deux façons différentes dans les cristallisoirs :
1° La masse cuite est chargée avec une eau mère assez fortement sursaturée, soit avec un coefficient de 1,3. Une telle masse cuite, qui renferme 6-7 p. 100 d'eau ne peut pas, dès le début, être fortement refroidie, mais doit être, durant plusieurs heures, maintenue à la température de 75-80° ; la sursaturation est, en effet, tellement forte, qu'il se formerait immédiatement de nouveaux cristaux, si on l'augmentait encore par refroidissement. C'est seulement lorsque, par suite de la cristallisation, le coefficient de sursaturation est descendu à 1,1-1,2 que l'on peut refroidir très lentement. Quand, après 18-24 heures, la température est descendue à 60° C, on ajoute suffisamment de sirop d'égout dilué pour rendre la masse assez fluide pour le turbinage. Le travail est terminé quand la température est descendue à 55° C.

2° La sursaturation est de 1,15 à 1,2. Dans le travail des cristallisoirs avec des masses cuites aussi sèches, on commet facilement des fautes et pour ce motif on préfère généralement y traiter des masses plus liquides. Naturellement, on peut quand même pousser la cuite jusqu'à ce que l'eau mère ait un coefficient de sursaturation de 1,3, ce qui est toujours recommandable. Mais une fois que la masse cuite est chargée dans les cristallisoirs, on y ajoute de l'eau de condensation ou une certaine quantité d'égout dilué et chaud pour faire tomber le coefficient de sursaturation à 1,15-1,2. Cette masse moins concentrée renferme 8-8,5 p. 100 d'eau et peut être immédiatement et assez fortement refroidie de façon à atteindre au bout de 15 à 20 heures, la température de 45-55° convenable pour le turbinage, sans formation de nouveaux cristaux et sans qu'il soit nécessaire de diluer à nouveau.

Cette 2° façon de travailler ne permet pas d'obtenir le même rendement qu'avec des masses cuites plus sèches et non diluées. Elle donne généralement un sirop d'égout à 75 de pureté, et l'on ne peut descendre en dessous de ce chiffre que par une cuite prolongée avec rentrée d'égout, tandis qu'en faisant une cuite sèche, on peut abaisser la pureté de l'eau mère à 70. Cependant, cette 2° façon de travailler exige plus d'attention ; si on n'apporte pas l'attention voulue, on obtient des masses cuites qui se turbinent difficilement, que l'on ne peut rendre turbinables que par réchauffage et dilution ; mais alors on dissout tant de sucre que le rendement est beaucoup diminué.

Les cristallisoirs fermés genre Huck et Lauke, ne donnent pas en pratique de meilleurs résultats que les cristallisoirs réfrigérants, parce qu'il est trop difficile d'y maintenir un coefficient de sursaturation régulier de 1,2 à 1,3.

On y forme presque toujours du grain fin qu'il faut redissoudre

par injection de sirop dilué, ce qui, naturellement, détruit la continuité de la cristallisation.

Il ne paraît pas avantageux, dans un travail normal, de pousser trop loin le désucrage de l'eau mère des masses cuites de premier jet, parce que cela exigerait un grand nombre d'appareils à cuire avec mouvement et de cristallisoirs. On se contente le plus souvent d'abaisser la pureté de l'égout à 75 ; peu d'usines vont jusqu'à 70-72, par contre, un grand nombre restent au-dessus de 75. Du reste, au point de vue de la production d'un bon sucre brut qui se laisse facilement claircer et blanchir et puis raffiner, un désucrage de l'eau mère poussé trop loin n'est pas à conseiller (H. Claassen).

La cristallisation est d'autant plus régulière que la solution est maintenue plus exactement dans l'état exact de saturation. Dans beaucoup de fabriques, on s'efforce de cuire aussi concentré que possible, mais ce système donne fréquemment des masses difficiles à turbiner, produisant un sucre brut, de constitution défectueuse, notamment en ce qui concerne les grumeaux. Il faut assurer les conditions les plus favorables à la cristallisation en vue d'obtenir régulièrement le maximum de cristaux bien conformés et réguliers et des égouts ou mélasses épuisés. Il n'y a aucune difficulté à obtenir une chute de pureté de 20 unités, et même plus en une seule cuite, c'est-à-dire à parvenir à la mélasse réelle en partant d'une masse cuite à 80°. Le réfractomètre est d'un grand secours pour le dosage de la matière sèche.

Pour la formation du grain, il faut prendre des sirops de grande pureté et soutirer des produits de faible pureté (E. Von Lippmann).

Thermomètre Fournier. — Cet appareil peut rendre de grands services pour connaître exactement la température dans les appareils à cuire. Il est basé sur la loi suivante : *La tension d'une vapeur saturée est fonction de sa température seulement et indépendante du volume qu'elle occupe.* La conséquence immédiate de cette loi immuable, mathématiquement exacte, est que les variations de capacité de l'enveloppe thermométrique, variations qui constituent les principales causes des innombrables corrections que doit subir la lecture des thermomètres à dilatation, n'ont aucune influence sur les indications d'un thermomètre à tension de vapeur saturée. Dans ce dernier, la localisation de la partie sensible est rigoureusement réduite au réservoir de l'instrument, et on peut faire l'évaluation rigoureuse de la température d'un milieu situé à une distance illimitée du corps de l'appareil indicateur.

Un organe moteur d'élasticité invariable quelconque, mais susceptible de se déformer d'une quantité déterminée sous une pression donnée, est en communication par un tube flexible de longueur indéterminée avec un réservoir, au centre de capacité duquel débouche ce tube flexible. L'organe moteur est généralement le tube manométrique.

que en acier *c a b* de Bourdon (fig. 233), à section elliptique, roulé en forme de *tore*. Ce tube étant rempli d'une matière inerte et peu dilatable, telle que le sable, on ferme ses 2 extrémités au moyen de 2 bouchons soudés sur le tube. Dans le bouchon *b* s'engage un tube flexible *b e l*, dont on peut faire varier la longueur à volonté. Ce petit tube, généralement capillaire, est fixé sur le bouchon *b* par soudure autogène ou à l'argent et communique avec l'intérieur du tore. Son autre extrémité est mise en relation avec une capacité de contenance déterminée, constituée soit par un tube unique JK, soit par un

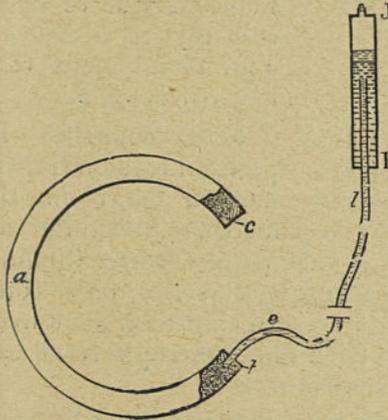


Fig. 233. — Schéma du thermomètre Fournier.

laisceau de tubes métalliques. On introduit d'abord dans ce système un liquide aussi peu volatil que possible (glycérine, huile, mercure) puis au-dessus, dans l'intervalle des températures entre lesquelles doit fonctionner l'appareil, ce liquide puisse se réduire à l'état de *vapeur saturante*, ayant une tension notable, puis on ferme le tube. Cette tension varie, et détermine dans le gros tube *c a b*, par l'intermédiaire du liquide non volatil, des mouvements correspondants d'extension ou de contraction. L'extrémité *b* du gros tube étant fixe et l'autre *c* libre, celle-ci traduit, par ses mouvements, toutes les variations de température auxquelles est soumise la capacité JK. Ces mouvements sont traduits sur un cadran (fig. 234) par une bielle *b* et un levier *q* monté sur pivot et dont le grand bras, de longueur réglable, porte un secteur denté *s* qui engrène avec un pignon *t*, solidaire de l'aiguille *u*. Le tube flexible *e d s* traverse le côté latéral de la boîte et se termine ici, par une ampoule *S* ayant la forme et la grosseur d'un œuf de petit oiseau. Quand le thermomètre est enregistré, le tube moteur *a* peut porter plusieurs enroulements (fig. 235). Les déplacements de son extrémité *b* sont transmis au stylet par une bielle *p*, un levier *q* (vu par bout), un levier *q*, et une bielle *p*. Un mouvement d'horlogerie placé à l'intérieur du cylindre *O* assure la rotation uniforme du cylin-

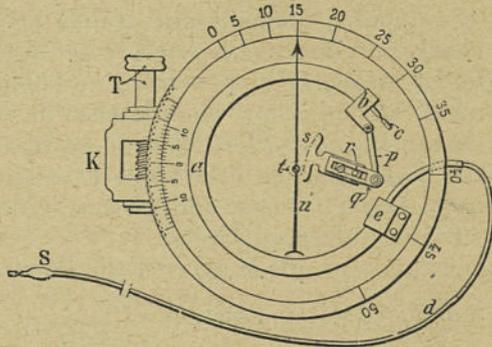


Fig. 234. — Thermomètre Fournier à cadran.

ici, par une ampoule *S* ayant la forme et la grosseur d'un œuf de petit oiseau. Quand le thermomètre est enregistré, le tube moteur *a* peut porter plusieurs enroulements (fig. 235). Les déplacements de son extrémité *b* sont transmis au stylet par une bielle *p*, un levier *q* (vu par bout), un levier *q*, et une bielle *p*. Un mouvement d'horlogerie placé à l'intérieur du cylindre *O* assure la rotation uniforme du cylin-

dre O. Sur celui-ci peut glisser longitudinalement un autre cylindre O' muni à sa partie supérieure d'une pièce MN que traverse une vis W dont l'extrémité inférieure peut tourner dans un collier qui ne lui permet aucun mouvement longitudinal. Une graduation GH munie d'un

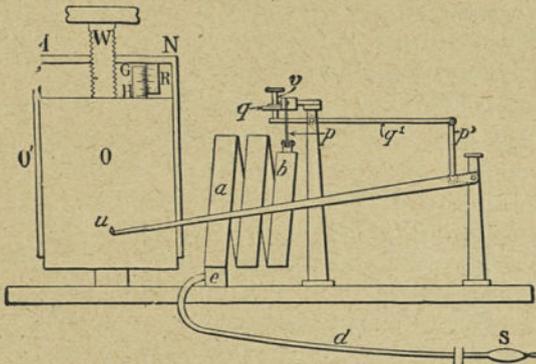


Fig. 235. — Thermomètre enregistreur Fournier.

vernier R permet d'amenner par rotation de la vis W la division corrigée sous la pointe du stylet inscripteur. Les indications de ce stylet sont réglées au moyen d'un thermomètre étalon, par la vis V. Pour connaître la pression réelle h (exprimée par une colonne de mercure), il faut retrancher de la pression atmosphérique H le vide V qui y existe. Comme on n'a généralement pas de baromètre dans les sucreries, on se contente de poser $H_0 = 76$, d'où $h = 76 - V$; mais ce chiffre est alors trop fort ou trop faible suivant que la pression atmosphérique réelle est inférieure ou supérieure à 76 cm de mercure.

Condensateur saccharimétrique Hodek (Ralentator). — Pour arrêter les vésicules sucrées qu'entraîne toujours la vapeur produite dans les appareils à évaporer et à cuire, Hodek a fait passer cette vapeur par un cylindre horizontal portant des diaphragmes perforés. Cet appareil donnant une grande perte de charge, on diminua le nombre de tôles perforées et on les supprima même complètement. On lui donna alors le nom de *ralentisseur (Ralentator) Hodek* et on expliqua son fonctionnement en disant que le ralentissement permettait aux gouttelettes de liquide entraînées de se précipiter.

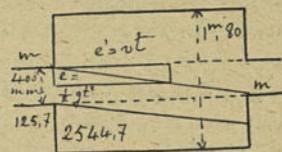


Fig. 236. — Ralentisseur Hodek.

Supposons que le tuyau d'alimentation ait 400 m/m. et le ralentisseur 1,80, soit une section $\frac{2,5447}{0.1257} = 20$ fois plus grande (Fig. 236).

Pour que tout le liquide entraîné soit arrêté, il faut qu'une molécule m vienne aboutir au plus haut en m', c'est-à-dire que son parcours vertical devra être de 400 m/m.

Supposons que la vapeur arrive avec une vitesse de 25 m. La molécule m est soumise à l'action de la pesanteur qui tend à lui faire parcourir des espaces $e = \frac{1}{2} g t^2$ et elle est en outre animée d'une vitesse v qui tend à lui faire parcourir des espaces $e' = vt$. En éliminant t entre

ces équations, on a celle du mouvement résultant en fonction de la vitesse v , $\epsilon^2 = \frac{2v^2}{g} \times e$. En posant $\frac{v^2}{g} = p$, on a $\epsilon^2 = 2pe$.

C'est l'équation d'une parabole tangente à l'origine à l'horizontale et ayant la verticale pour axe de symétrie.

Nous avons $\epsilon = v \sqrt{2e \times \frac{1}{g}}$ Pour $e = 0,400$, $v = 20$ m.

$$\epsilon = 20 \times \sqrt{2 \times 0,4 \times \frac{1}{g}} = 5 \text{ m. } 71$$

Pour $v = 30$ m on aurait $\epsilon = 8$ m 56

Il faudrait donc donner à l'appareil une longueur de 6 à 8 m. La pratique démontrant qu'il n'y a pas grand avantage à dépasser 2 mètres, on en conclut qu'il y a une autre cause d'élimination de liquide entraîné. Du reste la vitesse dans le ralentisseur est aussi grande que celle dans l'appareil. En réalité, le liquide entraîné est d'abord sous forme de vésicules qui, par le refroidissement se transforment en gouttelettes plus denses. Il faudrait donc favoriser le refroidissement, et c'est bien ce qu'on a conseillé et ce qu'on a souvent fait. Si on ne place pas des serpentins refroidisseurs dans les vases de sûreté comme on l'a conseillé, on place souvent au-dessus du toit, exposés au vent et à la pluie, le condenseur et une partie du tuyautage qui y aboutit. Comme il y a souvent une différence de température de 50° entre la température de la vapeur et celle de l'air ambiant et que chaque mètre carré de tôle transmet environ 200 calories par heure et par degré de chute, il est facile de voir que, sous prétexte de récupération, l'on renvoie dans la 4^e caisse de l'appareil à évaporer un grand poids d'eau qui y est réévaporé à simple effet, d'où augmentation importante dans la consommation de combustible. Il est préférable d'employer un système de chicanes.

Dans ces derniers temps, on a remplacé les tôles perforées par un système de tubes entrecroisés placés en lits serrés et nombreux les uns au-dessus des autres, ce qui assure une grande division des veines fluides tout en respectant la vitesse normale de chaque veine.

Désucreur Van Ingelandt. — Cet appareil, utilisé comme sécheur de vapeur, se compose d'un cylindre vertical dans lequel la vapeur rencontre un faisceau de tubes verticaux ; les vésicules entraînées se brisent contre les tubes et l'eau s'accumule du côté opposé où elle descend à l'abri de toute contre-pression (Fig. 237).

L'inventeur fait remarquer que l'appareil ne donnerait qu'un faible résultat si on remplaçait les tubes par des demi-tubes.

Dans ce cas, l'eau s'accumule en gouttelettes qui, se détachant, sont de nouveau entraînées par la vapeur.

Ainsi s'explique le peu de résultats donnés généralement par les chicanes.

Nous donnons ci-dessous la figure d'une installation complète de condensation centrale avec application de ce désucreur au quadruple effet et à la cuite.

Cet appareil peut aussi se placer directement au-dessus des caisses d'évaporation ou de cuite comme dans la figure ci-dessous.

Cuite à multiple effet. — En décrivant l'appareil évaporatoire primitif de Rillieux, nous avons dit que les vapeurs produites par l'évaporation du jus de la 1^{re} caisse servaient à faire bouillir non seulement le jus de la 2^e caisse mais encore la 4^e caisse servant d'appareil

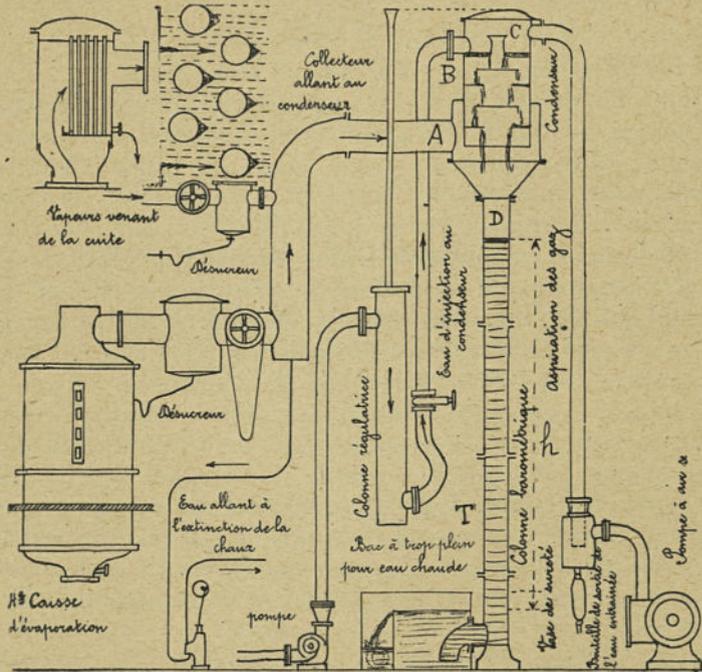


Fig. 237. — Condensation centrale barométrique avec désucreur à tubes.

à cuire. La cuite se faisait donc à double effet ; ce système présente le double avantage d'économiser de la vapeur et de chauffer la cuite avec une vapeur à plus basse température, ce qui évite les caramélisations.

En France on a toujours construit des chaudières à cuire fort hautes ; les fabricants préféraient ces chaudières parce qu'ils prétendaient obtenir ainsi des grains de sucre plus gros. Mais avec ce genre de chaudière la surface de chauffe est faible par rapport au volume de liquide et il y a une différence assez notable entre la température d'ébullition à la partie inférieure et à la partie supérieure de la masse. Avec ces chaudières la cuite n'était possible qu'avec de la vapeur à haute pression. Pour cuire avec de la vapeur à basse pression, il fau-

drait donner à la surface de chauffe une grande étendue et donner une hauteur relativement faible au liquide dans l'appareil à cuire.

En Autriche on emploie beaucoup de chaudières à cuire horizontales tubulaires qui permettent d'avoir une très grande surface de chauffe, une très faible hauteur du liquide et d'avoir un très grand dôme pour éviter les entraînements de vésicules sucrées. Ces chaudières sont en forme de coffre mais leur fond est horizontal ou en forme de toit renversé à 45°. Cependant ces chaudières ne présentent pas d'intérêt quand on ne cherche pas à enlever le sucre à force de concentration, en d'autres termes en faisant des cuites serrées. C'est donc la forme française qui a prévalu et qui est la plus employée maintenant.

La disposition que l'on adopte généralement est la suivante :

Les serpentins du bas reçoivent de la vapeur vive au commencement de la cuite et ensuite les vapeurs de la 1^{re} caisse d'évaporation ; ceux du haut reçoivent des vapeurs de la 2^e caisse.

Le serpentin présente l'inconvénient que l'eau condensée dans les premières parties des spires doit parcourir un espace considérable avant de trouver une issue. L'ingénieur allemand Greiner emploie des serpentins en fer, à spires superposées, constituées par des segments SS' montés sur des colonnes de distribution de vapeur D.

L'eau condensée de tout l'ensemble se rend dans un collecteur C qui l'évacue par une même tubulure (Fig. 238).

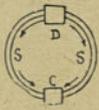


Fig. 238.
Chauffage Greiner

Le centre de l'appareil reste libre, offrant à la masse cuite un canal d'écoulement.

On remplace aussi les serpentins par des lyres. La vapeur venant dans la chambre de vapeur V parcourt des tuyaux en forme de lyre L et l'eau condensée se réunit dans une chambre à eau E (Fig. 239).

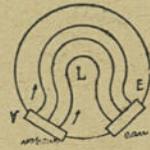


Fig. 239.
Cuite à lyres.

La fig. 240 montre un appareil à cuire horizontal avec fond double et 6 portes de vidange. Le corps est en tôle. Cet appareil présente l'avantage de laisser au-dessus du liquide un très grand espace pour l'ébullition ce qui empêche les entraînements, et de laisser au liquide une grande surface sous une faible hauteur, d'où évaporation rapide à basse température. Cette forme permet aussi de loger un grand nombre de tubes de petit diamètre dans un espace assez restreint, d'où grande surface de chauffe et faible hauteur du liquide. Les tubes en laiton passant dans un calfat avec bague en caoutchouc, sont à dilatation libre ; si un tube perd son étanchéité et que l'on n'ait pas le temps de remplacer la bague, il suffit de le boucher par un tampon en bois et de le remplacer plus tard. La chambre de vapeur est divisée en plusieurs compartiments dont chacun peut au besoin recevoir la vapeur directe, de la vapeur d'échappement ou de la vapeur de jus.

Nouveaux appareils à cuire en grains. — Actuellement les cuites à serpentins tendent à disparaître. Beaucoup de fabricants remplacent les serpentins par un faisceau tubulaire ; ils conservent deux petits serpentins dans le bas, qui sont chauffés à vapeur directe, tandis que le faisceau tubulaire reçoit des vapeurs d'échappement. Il

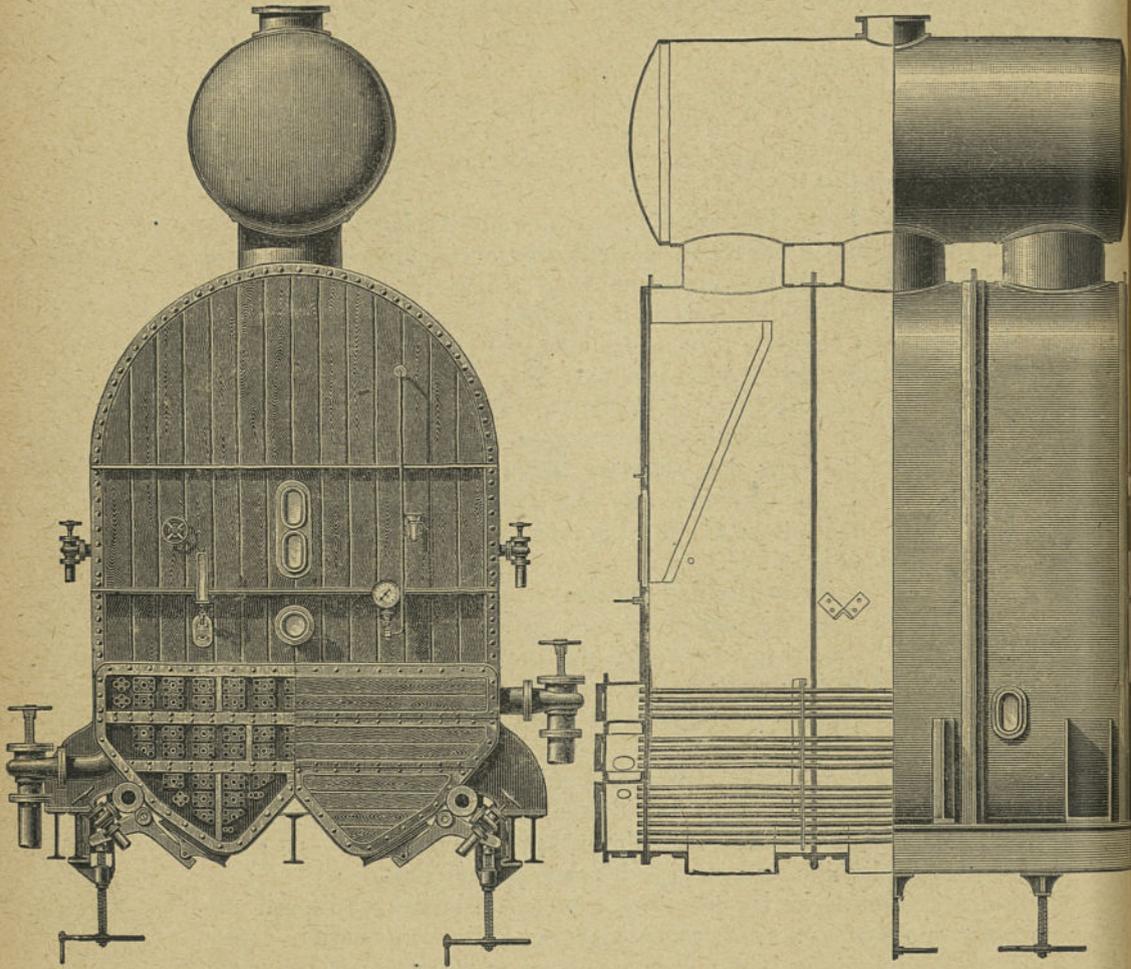


Fig. 240.—Appareil à cuire horizontal Wellner-Jelinek à fond double et à 6 portes de vidange (Grevénbroich)

y a parfois aussi deux faisceaux tubulaires concentriques ; celui du centre, qui a une plus grande hauteur, arrive à la partie supérieure au même niveau que celui qui l'entoure ; mais à la partie inférieure, il descend jusqu'au fond de la calotte ou du cône de la chaudière (Fig. 241).

Dans les appareils actuels l'alimentation de sirop se fait sur le

pourtour de la cuite par divers injecteurs dont un tiers tout à fait dans le fond de l'appareil et les 2 autres tiers sur le pourtour à la partie inférieure du caisson tubulaire. Ces injecteurs, Koerting ou autres, sont disposés sur une tuyauterie unique disposée en forme de couronne autour de l'appareil, en communication avec une pompe Worthington aspirant au bas et refoulant dans l'appareil à cuire.

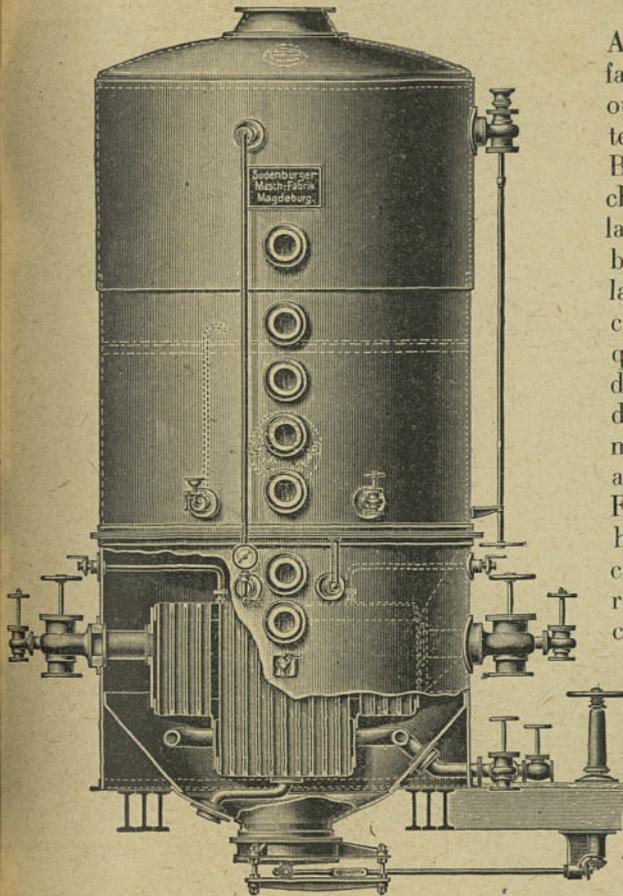


Fig. 241. — Cuite à 2 faisceaux tubulaires suspendus (Sudenburg-Maschinenfabrik).

Dans l'appareil à cuire Aders (fig. 242) le chauffage se fait par des tubes ou anneaux plats. Les cuites verticales de la maison Breitfeld Daneck sont chauffées par un corps tubulaire dont les plaques sont bombées vers le bas. A la grande sucrerie d'Escaudœuvres - lez - Cambrai qui comme celle de Pont d'Ardres fait 3.000 tonnes de betteraves par jour, la maison Cail a installé deux appareils à cuire système Freytag avant chacun 850 hectolitres et 930 mètres carrés de surface de chauffe répartie entre deux faisceaux tubulaires de 5 m.

de diamètre, avec tubes de 100 mm. de diam. et 750 mm. de lin ; les deux faisceaux sont superposés laissant entre eux un espace libre de 500 mm. et ont un tube dans lequel tourne un mouvement à hélice. On est

généralement d'avis qu'il vaut mieux supprimer cette hélice, le mouvement existant dans ces appareils d'une façon naturelle qu'il convient de ne pas déranger, surtout si l'on emploie le système d'alimentation à introductions multiples et si l'appareil est muni d'un double fond.

Brasmoscope. — (Du grec : *Brasmos*, *Ebullition* ; *Skopein*, *Examiner*). — Pour conduire la cuite, l'ouvrier se règle comme nous l'avons vu, sur les indications du vacuomètre donnant la dépression dans la calandre et sur celles du manomètre donnant la pression

dans le serpentin de vapeur ; il connaît ainsi *empiriquement* l'état de concentration de la masse dans la chaudière. L'Autrichien Curin a imaginé un appareil permettant par une simple lecture de connaître la différence entre la température d'ébullition de la masse cuite

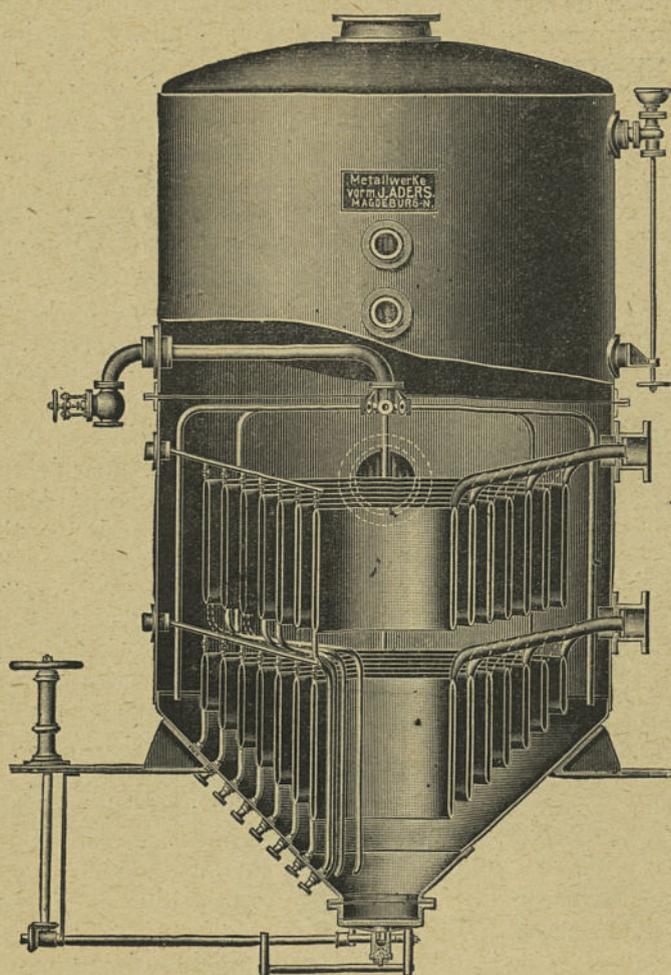


Fig. 242. — Cuite Aders.

et celle de l'eau, quel que soit le vide, et par-conséquent de connaître à tous moments la *densité de la matière cuite*.

Le brasmoscope ou ébulliodensimètre se compose d'une planchette sur laquelle sont fixés un thermomètre à grandes divisions, plongeant dans la masse cuite, et un vacuomètre dont la branche B² est fermée à sa partie supérieure tandis que l'autre B' est reliée à un flacon à deux tubulures N dont l'autre tubulure communique par le robinet

R avec le dôme de l'appareil à cuire. L'échelle V donne le vide en centimètres. Si l'on fait bouillir de l'eau dans la cuite et que l'on augmente progressivement le vide, les colonnes du vacuomètre et du

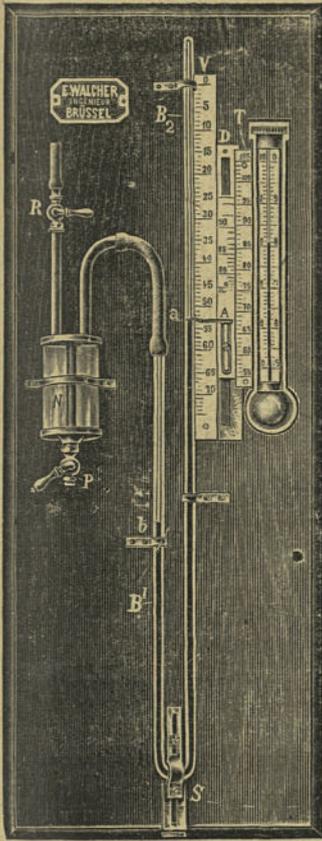


Fig. 243.—Brasmoscope.

thermomètre se suivront exactement comme la table de Regnault ou de Claassen. Si c'est du sirop qui bout, le thermomètre sera toujours plus haut que le trait correspondant du vacuomètre. On place donc entre les deux échelles un curseur D portant une échelle de densités ou de degrés Balling (sucre %). Si l'on veut cuire à 10 % d'eau, il faudra maintenir le vide dans le dome et la pression de la vapeur dans l'organe de chauffage, pour que l'aiguille a du curseur étant sur le chiffre indiqué par le manomètre, le chiffre de l'échelle thermométrique corresponde au chiffre marqué 90 sur le curseur (90 de sucre et 10 d'eau).

Cet appareil ne peut servir que pour les sirops ou des égouts ne renfermant pas de cristaux ; quand il s'agit d'une masse grainée, il ne donne que la densité de l'eau mère ; de plus, quand il y a beaucoup de grains, la température varie aux différents endroits de la masse et la circulation dans les environs du thermomètre est si défectueuse que celui-ci ne donne nullement une température correspondant à celle de la masse entière.

Comme on peut suivre la marche de la cuite sans cet appareil et que la cuite en grains des égouts se fait assez peu, cet appareil ne s'est pas beaucoup répandu. On pourrait probablement le remplacer par le réfractomètre qui est beaucoup plus commode (Prinsen Geerlig).

Dans le nouveau modèle de brasmoscope, le thermomètre est séparé de la planchette. A côté de l'indicateur du vide à mercure, mais séparément, se trouvent les échelles pour le vide, pour la température et pour la densité. La division pour les 2 premières échelles est telle que les degrés du vide correspondent aux températures auxquelles l'eau est en ébullition.

CHAPITRE XIV

Traitement de la masse cuite (Füll-Masse, Fill mass ou Strike) (1). — La masse cuite sortant de l'appareil à cuire en grains est une agglomération de cristaux de sucre réunis par un sirop riche en non-sucre. Pour en séparer le sucre, on se servait vers 1845 en Amérique, d'un appareil nommé *tigre*, espèce de grande caisse rectangulaire en

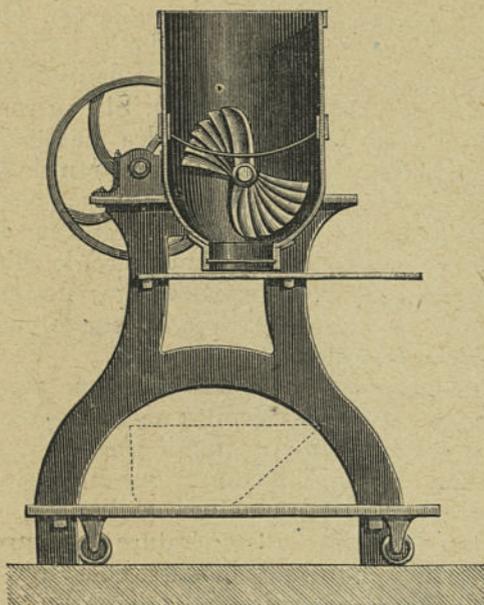


Fig. 244. — Moulin et poche à masse cuite.

tôle portant près du fond un double fond formé par une toile métallique à fines mailles. On coulait la masse cuite chaude et on faisait le vide sous le faux-fond ; l'égout s'écoulait à travers la toile tandis que le sucre restait dans le tigre où on l'arrosait de *clairce* pour le purifier. Dans d'autres usines, on avait des petites caisses de Schutzenbach de 0,70 c. de hauteur que l'on suspendait par 2 boutons latéraux à un chariot à grandes roues. Après refroidissement et égouttage, on vidait ces caisses dans le moulin à masse cuite. Ces systèmes de travail furent complètement révolutionnés par l'adoption de la

turbine inventée en Suède par Rohts et Seyrig, et utilisée depuis plusieurs années dans les teintureriers de coton. Le brevet français fut vendu à Cail, et pendant longtemps, les fabricants eurent à payer de fortes primes, au point qu'une turbine se vendait 3.000 fr. Après la chute du brevet, ce prix tomba à 1.200 francs.

Voici la composition des masses cuites de divers pays :

MASSES CUITES	Françaises		Allemandes		Autrichiennes	
Polarisation	85.7	86.9	83.5	84.7	85.7	90.5
Eau	7.2	6.6	7.5	6.9	6.0	4.7
Cendres carbonatées	3.0	2.5	3.5	3.2	2.3	2.1
Matières organiques	4.1	4.0	5.5	5.1	5.9	3.6
Quotient de pureté	92.3	93	90.3	91	91.2	93.9
— salin	28.8	33.4	23.8	26.8	37.2	43
Chaux	0.08		0.27	0.27		

(1) Le mot *fill mass*, peu employé, n'est qu'une traduction de l'allemand, mais le mot *strike* désigne la *cuite*, résultat de l'opération et non la *masse* même sortant de l'appareil.

Moulin ou Délayeur de masse cuite (Maischmaschine.— Pug mill).

— La masse cuite refroidie dans les caisses ou dans le bac refroidissoir, était déversée dans le moulin diviseur où l'on ajoutait un peu de mélasse pour aider au délayage de la masse, puis celle-ci reçue dans les poches ou becs de turbines que l'on vidait à bras d'hommes dans les turbines. Aujourd'hui, tout ce travail se fait mécaniquement.

La masse cuite est généralement conduite dans les turbines par des nochères ou caniveaux dans lesquelles des masses cuites, même très épaisses, coulent très bien ; il est bon cependant de placer dans ces nochères un arbre armé de bras courts tournant lentement et continuellement pour remuer la matière et empêcher le dépôt de cristaux. Claassen conseille de munir ces nochères d'une double enveloppe qui est très utile dans le cas où la masse doit y séjourner par suite d'un

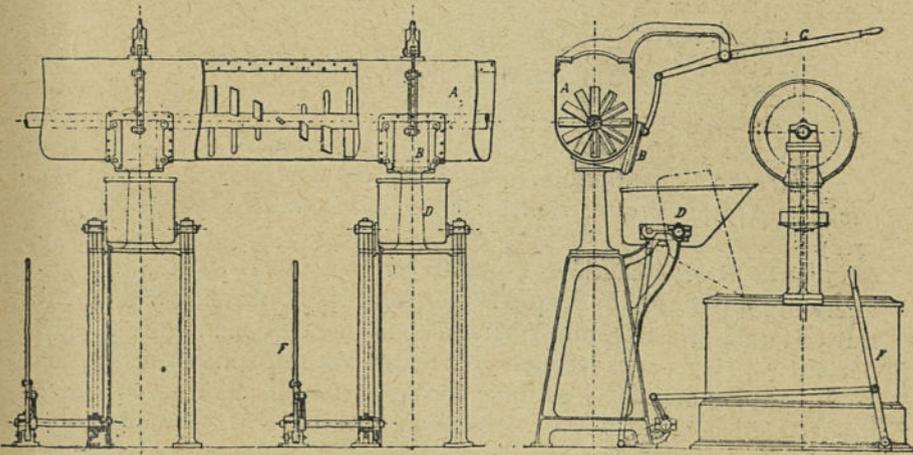


Fig. 245. — Chargeurs de masse cuite avec bassins mesureurs à bascule (F. Moret).

turbinage difficile. Si l'emplissage des turbines se fait au repos, comme cela a lieu généralement pour le 1^{er} jet, une marque sur la partie conique du tambour permet d'avoir des chargements réguliers. Mais même quand on emplit à la marche, comme on le fait généralement pour les arrière-produits, les ouvriers arrivent à charger régulièrement au moyen de la nochère. Pour des masses cuites se turbinant facilement, l'égout est séparé avant que la turbine ait atteint sa vitesse de régime.

La fig. 245 montre un chargeur de turbines. La masse cuite arrivant dans l'auge A est brassée par un arbre malaxeur à palettes. Par des trappes B on emplit de cette masse les bassins-mesureurs à bascule D. En faisant basculer ces bassins par des leviers de manœuvre F, la masse cuite se déverse dans la turbine.

Principe de la turbine (Centrifuge ; Centrifugal). — Une turbine se compose, en principe, d'un tambour ou panier vertical fixé sur un axe également vertical D tournant à une très grande vitesse. Le fond du tambour est constitué par un disque en acier coulé portant en son centre un moyeu plus ou moins conique. Sur ce disque est établi le panier proprement dit ; il est formé d'une enveloppe cylindrique en tôle douce perforée, cerclée dans le bas par une frette fixée au disque par des vis ; à sa partie supérieure il est maintenu par un collet L. Pour les grandes turbines, une autre frette est placée à mi-hauteur du panier.

A l'intérieur du panier, on place d'abord une toile de soutien en fer galvanisé et encore à l'intérieur de celle-ci une toile métallique en bronze phosphoreux.

Classification des turbines

Commande supérieure	{	à axe fixe (1)
		à axe libre (2)
Commande inférieure	{	à axe libre (3).
		à axe fixe (4).

1° Turbine à commande supérieure.

a. *Turbine à commande supérieure à axe fixe (Z mit oberem Antriebe und festgelagerter Achse ; Over driven centrifugal With fixed axle).*

C'est la *turbine Cail*. — Le tambour en fonte B porte à la partie inférieure 4 pattes dans lesquelles se fixent les boulons de scellement. Sur ce tambour est montée une arcade munie de deux montants supportant 2 paliers dans lesquels tourne un axe horizontal portant une poulie de commande G et un cône de friction F communiquant le mouvement à la turbine. L'axe de la turbine porte également un cône de friction E, composé de rondelles de cuir superposées et serrées par un gros écrou vissé sur l'extrémité filetée de l'axe. L'axe horizontal peut glisser horizontalement dans ses paliers ; il est maintenu en place d'un côté par un ressort H qui tend à rapprocher les 2 cônes et de l'autre par une vis armée d'un volant qui permet d'écarter les 2 cônes. L'axe vertical est pris entre 2 coussinets logés dans l'arcade. Ces coussinets doivent être maintenus en très bon état de réparations et très bien graissés. En effet, le cône E étant fixé en porte à faux sur l'axe vertical, la moindre négligence fait gripper les coussinets ; il en résulte une détérioration rapide de la crapaudine par suite de la trépidation et un bruit désagréable. Un frein J manœuvré par un levier I sert à arrêter la rotation après chaque opération (fig. 246).

b. *Turbine à commande supérieure et axe libre (Z, mit oberem Antriebe und freischwingender achse ; Over driven centrifugal With free axle).* — Dans la turbine Weston, l'arbre creux portant le panier est suspendu à un autre arbre plein SS avec écrou et contre-écrou soutenant une série de galets sur lesquels s'appuie un manchon F gou-

pillé à l'intérieur de l'arbre creux. Celui-ci contient l'huile pour le graissage et porte la poulie P et la poulie du frein. L'arbre plein fixe S est maintenu par 2 bagues en caoutchouc I et la chaise B. Les parties frottantes étant placées entre le point de suspension (fixe) et le panier, en cas d'avarie aux parties frottantes (grippage), il faut dégoupiller le manchon et enlever l'arbre S pour enlever le panier et changer les rondelles (fig. 247).

Pour éviter ce démontage, on a reporté les parties

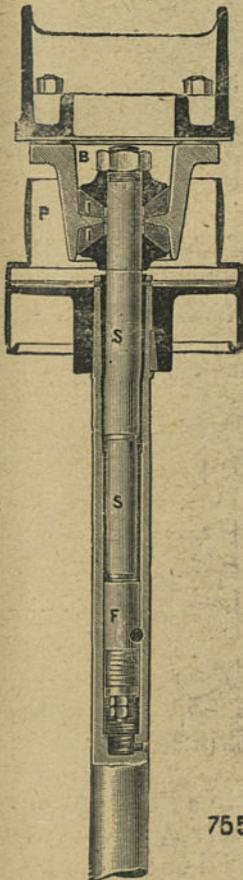


Fig. 247.

755

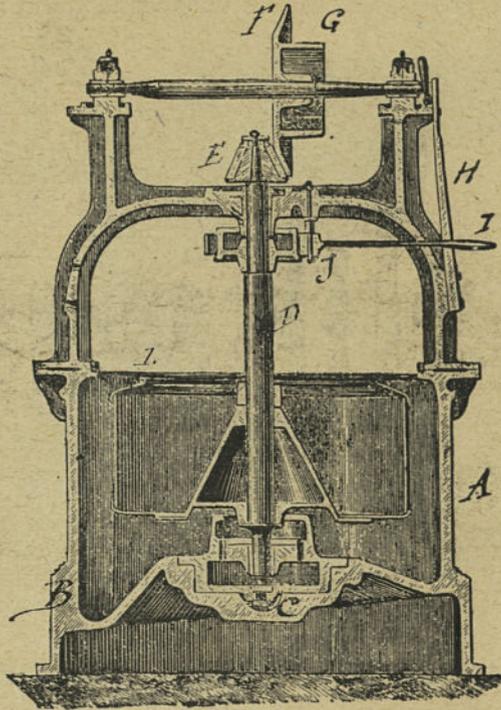


Fig. 246. — Turbine à axe fixe et à commande supérieure.

frottantes à la partie supérieure (fig. 248).

L'arbre fixe A'1 est creux, il est soutenu par une chaise C, des rondelles de caoutchouc rr' et un écrou E. Il porte à son extrémité supérieure un godet G qui supporte le poids de l'arbre tournant extérieur A1, par l'intermédiaire d'un axe central A'' qui descend en dessous de l'axe creux A'1 et est fixé à l'axe A'1 par une goupille j. La vidange se fait en soulevant le cône central K qu'on maintient levé par un ressort. A l'aide d'une pelle, le sucre est rejeté par le trou laissé béant par le soulèvement du cône.

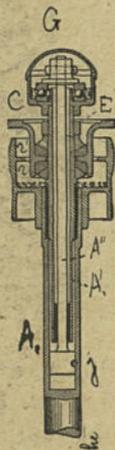
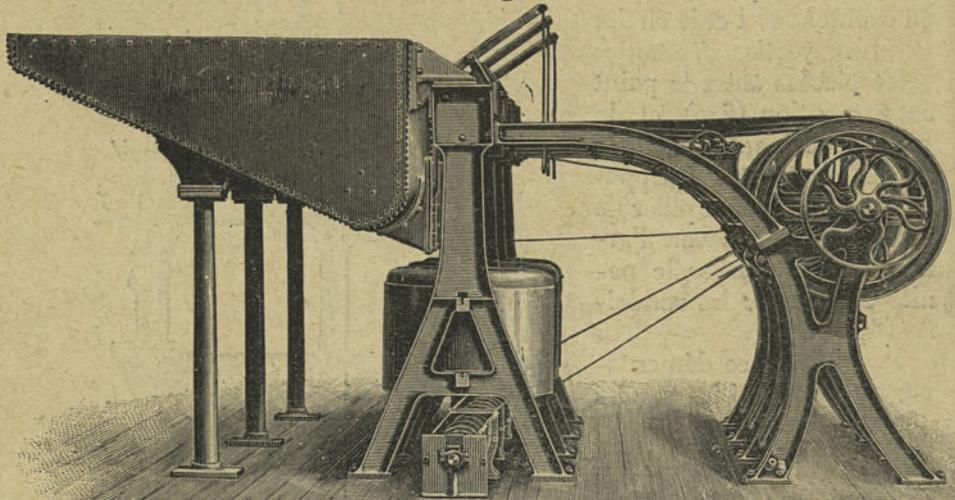


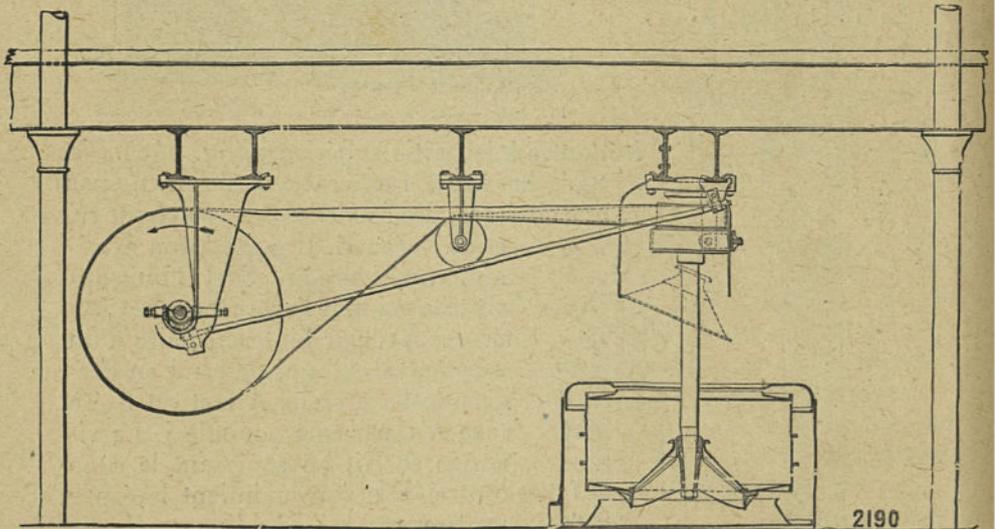
Fig. 248.

2° *Commande en dessous (Z mit unterem Antriebe ; Under driven 1.)* — Dans ces turbines, le dessus est complètement libre, en sorte que

le panier est parfaitement abordable sur tout son pourtour.
Les Allemands distinguent ces turbines en turbines à axe libre et turbines à axe fixe ou turbines anglaises.



743



2190

Fig. 249 et 250. — Turbine Weston suspendue à un bâti ou à un plancher (Watson-Laidlaw).

a. — *Commande en dessous avec axe libre, système Fesca (Z. mit unterem Antriebe und freischwingender achse. Under driven centrifugal with free axle).* — La crapaudine se compose d'une partie fixe et d'une partie mobile reposant dans la partie fixe par une surface

sphérique ; l'axe peut donc se balancer à droite et à gauche, la partie mobile de la crapaudine suivant tous ses mouvements (fig. 251).

L'axe porte une poulie creuse qui recouvre la crapaudine de façon à diminuer le plus possible le moment de traction de la courroie.

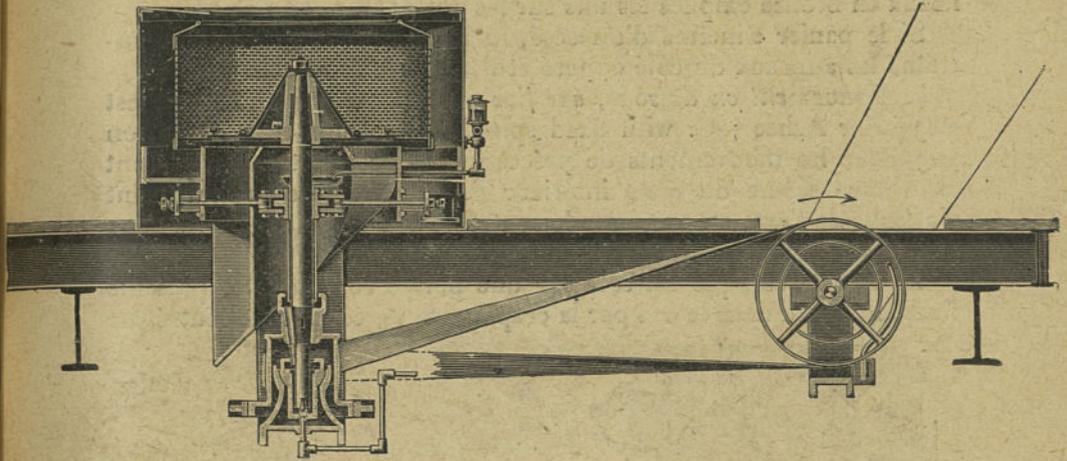


Fig. 251. — Turbine à axe libre et à vidange inférieure (Grevenbroich).

Immédiatement au-dessus de la poulie, l'axe traverse un collier à coussinets maintenu par des entretoises qui traversent le bâti et sont maintenues en place par un écrou séparé du bâti par un fort tube ou des rondelles en caoutchouc. Au-dessus du collier, l'axe porte le tambour. Grâce aux rondelles de caoutchouc, l'axe peut s'écarter de la verticale, et les entretoises tendent à le ramener dans cette position. Lors de la mise en marche, le tambour étant toujours plus chargé d'un côté que de l'autre, la pesanteur tend à faire prendre à l'axe OA qui tourne autour de lui-même et que nous supposons pour l'instant dans le plan oxy , une rotation autour de l'axe oz perpendiculaire au plan oxy . Les 2 rotations représentées par OA et OB tendent à se composer en une seule OC . L'axe OA n'ayant

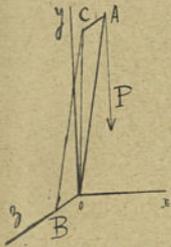


Fig. 252.

que son point O fixe se porte par le plus court chemin vers la ligne oC qui est en dehors du plan oxy . Il en résulte un mouvement de précession (mouvement de toupie) qui va en diminuant jusqu'à ce que l'axe OA se confonde avec oy qui est un axe principal d'inertie et par suite un axe permanent de rotation (toupie qui dort). Mais si le tambour a reçu beaucoup plus de masse cuite d'un côté que de l'autre, le mouvement de précession devient prononcé, et sur lui, vient se greffer un mouvement de nutation qui peut faire battre

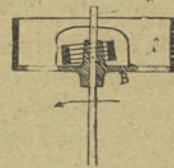


Fig. 253.
Régulateur Pesca.

le tambour contre son enveloppe et se briser. Fesca évite cet inconvénient, quand il s'agit de masses cuites très épaisses (comme en raffinerie), au moyen de son régulateur. C'est une boîte cylindrique B placée verticalement dans le centre du tambour et contenant 4 anneaux en bronze empilés les uns sur les autres (Fig. 252 et 253).

Si le panier s'incline d'un côté, la force d'inertie centrifuge entraîne les anneaux du côté opposé et l'équilibre se rétablit bientôt.

b. *Mouvement en dessous, axe fixe ou système anglais* (Z mit fest gelagerter Achse ; C. with fixed spindle). — Dans ce système, on supprime les mouvements de précession et de nutation en plaçant au centre même du cône intérieur du tambour, le second point d'attache de l'axe, en sorte que le centre de gravité soit entre les deux points fixes (Fig. 254).

Le moyeu conique est calé sur une portée conique que présente l'axe. Soutenu dans le bas par la crapaudine K, cet axe est centré par

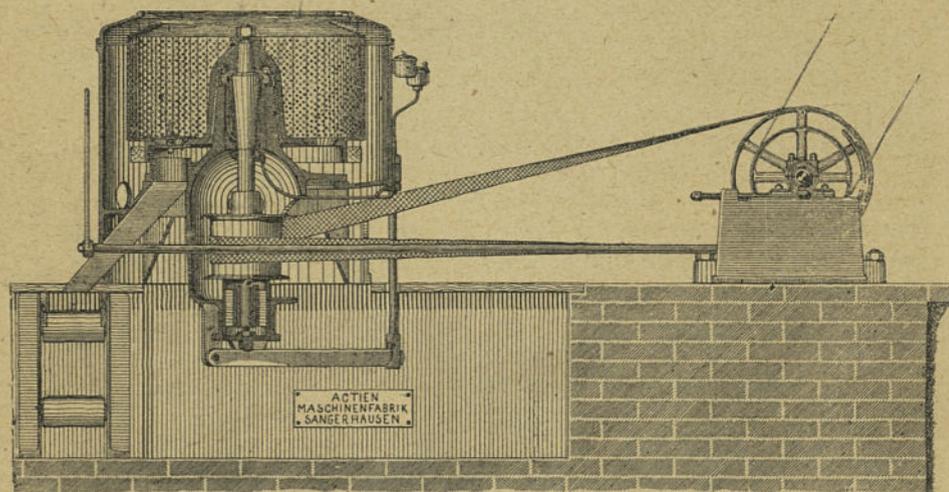


Fig. 254. — Turbine à commande inférieure et axe fixe (Sangerhausen)

une douille en bronze avec bague antifriction qui embrasse la partie conique. Le rattrapage de jeu se fait en abaissant légèrement l'axe. On opère la vidange par des lumières que présente le fond du panier.

La force d'inertie centrifuge étant très faible dans les environs de l'axe, on peut considérer cette partie comme très peu utile pour le turbinage. Pour annuler cet espace mort dans les anciennes turbines, on entourait l'axe d'un cône en tôle qui avait en outre pour avantage de faciliter l'égalité répartition de la masse cuite. Il y a là un cas analogue à ce que nous avons vu pour les coupe-racines. Dans les turbines anglaises, cet espace est occupé par le moyeu que l'on fait fortement conique.

Comparaison entre les turbines. — Les turbines à axe fixe exigent

des scellements inébranlables ; on ne peut donc guère les mettre aux étages, par contre elles ont un bon rendement dynamique.

Comme turbine à axe fixe, on préfère la turbine à commande inférieure parce que : 1° l'on peut attaquer directement l'axe même de la turbine par une courroie (généralement courroie-torse) ; 2° le dessus du panier est complètement libre ; 3° l'on peut faire la vidange en dessous sans surélever la turbine.

Les turbines à axe libre n'exigent pas de scellements inébranlables ; on peut par suite les placer aux étages. La turbine à axe libre commande inférieure très répandue dans les féculeries allemandes peut fonctionner sans même que le châssis en bois qui la porte soit bouclonné sur le plancher ou sur le sol.

Par contre leur rendement dynamique est inférieur à celles à axe fixe (pertes d'énergie dans les caoutchoucs). Contrairement à ce qui s'est passé avec les turbines à axe fixe, c'est la commande supérieure qui a prévalu en sucrerie. La turbine américaine est répandue aux Etats-Unis, dans les Colonies, en Russie, etc.

Diamètres des turbines et systèmes de commande adoptés.

Anciennement, les turbines avaient de petits diamètres (70-80 cm.) et étaient toujours commandées par transmission et courroie. Dans le but d'économiser la main-d'œuvre, on augmenta les diamètres tout en conservant des vitesses aussi grandes que le permettaient les contraintes admissibles dans le métal, par suite de la force d'inertie centrifuge. Si l'on admet comme limite de sécurité une vitesse périphérique d'environ 50 m. par seconde, on voit que les vitesses angulaires correspondant à des paniers de 0,75, 1 m. 000, 1 m. 25 sont respectivement $n = 1270$ tours $n' = 955$ tours $n'' = 763$ tours.

Cependant, en ces derniers temps, on a pu admettre pratiquement jusque 65 mètres pour la vitesse périphérique. La contrainte du métal atteint alors 3, 4 kgs. par mmq pour la force d'inertie centrifuge propre au panier seul, valeur très élevée qui exige des soins de construction tout particuliers.

Les charges en masse cuite diffèrent suivant les dimensions (de 50 à 400 k. de masse cuite).

On réalise aisément une opération complète, chargement et vidange compris, avec une petite turbine en 120 secondes. La production journalière minima d'une turbine pour cette durée du cycle, en 20 heures, avec un chargement de 50 kgs. de masse cuite donnant 25 kgs. de sucre blanc, peut être estimée à $\frac{20 \times 60 \times 60 \times 25}{120} = 15.000$ kgs. de sucre environ.

Les turbines de 1 m. 00 et 1 m. 25 de diamètre chargeant en moyenne 220, 320 kgs. de masse cuite et donnant respectivement 110 et 160 kgs. de sucre par opération en 540 et 720 secondes, produisent par jour 15.000 et 16.000 kgs. de sucre blanc.

On voit que les turbines à panier de 1 m. 00 et 1 m. 25 de diamètre sont équivalentes comme production aux turbines de 0 m. 75 ; elles coûtent donc plus cher comme dépense de premier établissement et d'énergie ; le bénéfice est du côté de la main-d'œuvre.

Pour le choix du diamètre des turbines, il faut aussi tenir compte de la qualité et de la nature des masses cuites à turbiner et voir si on pourra obtenir facilement un sucre homogène ayant régulièrement la qualité voulue. Certaines masses cuites dont l'égout-mère est saturé sont plus difficiles à turbiner et conduisent à un aussi beau sucre avec des turbines à grand diamètre qu'avec des turbines à petit diamètre. Avec ces dernières, la couche de sucre à claircer dépasse rarement 5-7 centimètres d'épaisseur ; elle peut atteindre 12 cm. avec les premières.

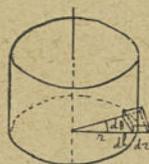


Fig. 255.

Les grandes turbines présentent 2 inconvénients : 1° La difficulté du démarrage ; 2° La grande pression sur l'enveloppe qui peut occasionner en cas d'emballement l'éclatement du tambour.

Démarrage. — Au démarrage, les turbines exigent un travail considérable. En appelant δ , la densité de la matière, n le nombre de tours, R et R_1 , les rayons intérieur et extérieur de la masse. (Fig. 255.)

$$T = \frac{m v^2}{2} = \frac{P v^2}{2g} = \frac{4 \pi^2 n^2 \delta}{2g} \int_R^{R_1} r^3 dr \int_0^h dh \int_0^{2\pi} d\theta$$

$$P = \delta \pi (R_1^2 - R^2) h$$

D'où :

$$T = \frac{P \pi^2 D^2}{g} (R_1^2 + R^2)$$

Soit une turbine de 1 m. de diamètre ; $R = 0$ m. 30, $R_1 = 0$ m. 50, chargée de $P = 150$ kgs. de masse cuite et tournant à une vitesse de régime de 1200 tours :

$$n = \frac{N}{60} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ tours par } 1''.$$

On a :

$$\frac{P \times \pi^2 \times 20^2}{g} (0,5^2 + 0,3^2) = 150 \times 400 \times 0,34 = 20.400 = 272 \text{ HP.},$$

pratiquement $\pi^2 = g$.

En supposant toute la masse concentrée dans le panier, on aurait : $P \times 20^2 (0,5^2 + 0,5^2) = 30.000$ kgs. = 400 HP

Si cette vitesse de régime est atteinte dans une unité de temps, c'est-à-dire en une minute, l'accélération est de 1200 tours par minute ou 20 tours par seconde et le travail à développer sera de 153 chevaux. Si cette vitesse est atteinte en 3 minutes, l'accélération

n'est que de 5 tours par seconde et la puissance exigée par la turbine est de 50 chevaux.

Ces chiffres ne tiennent pas compte des résistances passives. Pour une turbine à panier de 0 m. 75 chargeant 60 k. de masse cuite, le démarrage représente, à 1.200 tours, une énergie cinétique de 18.000 kgm. Pour une turbine à panier de 1 m. 25 chargeant 300 kg. de masse cuite et tournant à 1.000 tours, l'énergie cinétique dépasse 110.000 kgm.

Pression sur l'enveloppe. — La force d'inertie centrifuge pour une masse m est $\frac{m v^2}{r} = \frac{D v^2}{g r}$. Le poids d'un élément est $\delta r. d\theta. dh. dr$.

la vitesse $v = 2\pi r n$. $v^2 = 4\pi^2 r^2 n^2$.

$$\frac{4\pi^2 n^2 \delta. r. d\theta. dh. dr}{g dr}$$

$$\Phi = \sum \varphi = \frac{4\pi^2 n^2 \delta}{g} \int_R^{R_1} r^2 dr \int_0^h dh \int_0^{2\pi} d\theta =$$

$$\frac{4\pi^2 n^2 \delta}{g} \frac{R_1^3 - R^3}{3} \times h \times 2\pi = \frac{8\pi^3 n^2 \delta h (R_1^3 - R^3)}{3g}$$

Le poids du cylindre est $P = \delta \times \pi h (R_1^2 - R^2)$

$$\delta h = \frac{P}{R_1^2 - R^2}$$

$$\Phi = \sum \varphi = \frac{8\pi^2 n^2 P}{g (R_1^2 - R^2)} \times \frac{(R_1^3 - R^3)}{3} = \frac{8\pi^2 n^2 P}{3g} \times \frac{R_1^3 - R^3}{R_1^2 - R^2}$$

La surface extérieure est $2\pi R. h$. La pression par unité de surface est donc

$$\frac{\Phi}{S} = \frac{\sum \varphi}{S} = \frac{8\pi^2 n^2 P}{2\pi \times 3g R_1 h} \times \frac{R_1^3 - R^3}{R_1^2 - R^2} = \frac{4\pi n^2 P}{3gh} \times \frac{R_1^3 - R^3}{R_1^3 - R_1 R^2}$$

Prenons $h = 0,40$; $\frac{\sum \varphi}{S} = \frac{4\pi \times 15^2 \times 150}{3g \times 0,4} \times \frac{0,125 - 0,027}{0,127 - 0,045} =$

$$\frac{4\pi \times 15^2 \times 150}{3g \times 40} \times \frac{0,098}{0,080} = 4 \text{ k. 41 par cmq.}$$

Commande hydraulique (Wasser Antrieb ; Water driving)

Elle a été appliquée récemment par la maison Watson de Glasgow au moyen d'une roue Pelton montée directement sur l'axe d'une turbine Weston à la place de la poulie (Fig. 256).

L'eau, légèrement huilée pour éviter l'oxydation est refoulée sous une pression de 10 à 11 kgs. par une moto-pompe Duplex dans une bouteille de sûreté en fonte avec manomètre et régulateur agissant sur le moteur ; elle se répand dans le collecteur des moteurs hydrau-

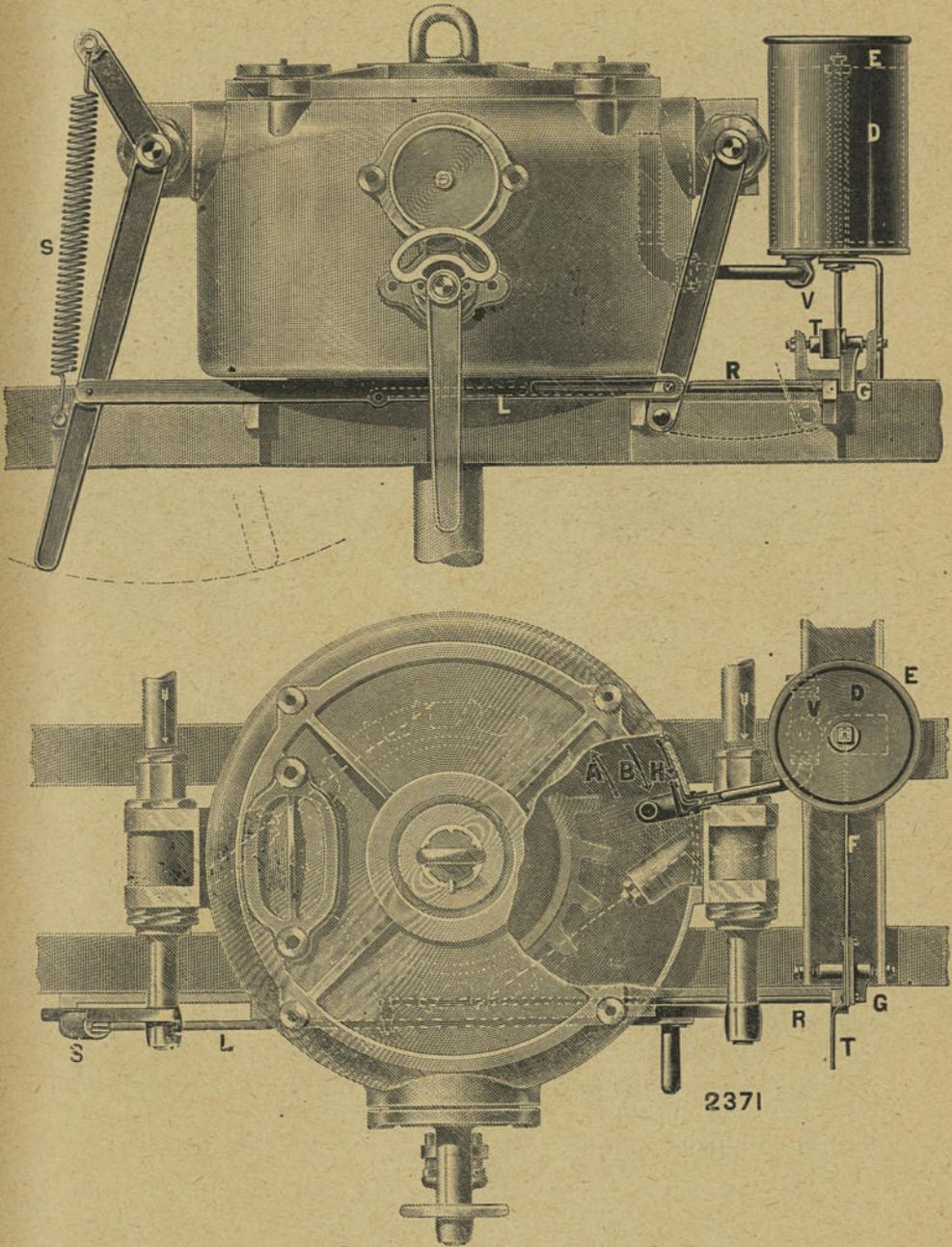


Fig. 237. — Réglage automatique de la vitesse dans la commande hydraulique (Watson-Laidlaw).

Régulateur automatique (Automatic cut out). — Au démarrage, l'eau jaillissant des tuyères est projetée en arrière par les palettes de la roue Pelton dans le sens de la flèche A. La vitesse de la roue augmentant, la vitesse rétrograde de l'eau diminue également, jusqu'à ce que la roue atteigne sa vitesse la plus efficace en rapport avec la vitesse du jet d'eau ; à ce moment, l'eau tombe de la roue Pelton sans mouvement de recul. Par une nouvelle légère accélération de la roue, l'eau tombant de la roue suit celle-ci dans le sens de la rotation, comme le montre la flèche B., et quand une petite quantité d'eau entrera par le tube H dans le bac à flotteurs E, elle soulèvera le flotteur D qui agira sur le levier F, en communication avec le déclic G. Celui-ci

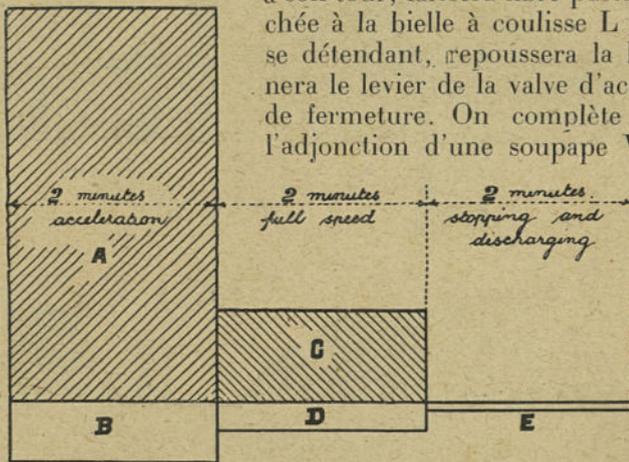


Fig. 258.— Diagramme du cycle d'une turbine avec commande hydraulique. A, aire figurant le travail dépensé par les 2 jets d'eau durant les 2 minutes d'accélération ; B, la perte de travail dans le cylindre, la pompe et les tuyaux pendant la même période ; C, le travail pendant que le petit jet seul fonctionne pour maintenir la vitesse de régime (full speed) ; D, le travail perdu dans le cylindre, la pompe et les tuyaux pendant la même période ; E, perte constante dans les motopompes par suite des fuites.

à son tour, laissera libre passage à la tige B attachée à la bielle à coulisse L ; alors le ressort S se détendant, repoussera la bielle L qui ramènera le levier de la valve d'accélération au point de fermeture. On complète cet appareil par l'adjonction d'une soupape V qui pourra permettre de retarder l'entrée de l'eau dans le bac à flotteurs. Lors-qu'on voudra laisser ouverte plus longtemps la valve d'accélération. Le petit levier T permet aussi à l'ouvrier de dégager à la main le déclic G, lorsqu'on veut fermer la valve d'accélération avant que l'appareil n'entre en fonction (Fig. 257).

Le diagramme indique la distribution de la ^{puissance} pression motrice durant un cycle complet. L'aire totale représente le travail sur le piston à vapeur de la pompe (Fig. 258).

L'expérience démontre que la puissance motrice nécessaire pour actionner une turbine varie approximativement, dans de petites limites, comme le carré de la vitesse.

Turbine Freitag mue par égout comprimé (Druck-Syrupantrieb). — Le mouvement peut être communiqué aux turbines par l'égout lui-même qu'une pompe refoule à une pression de 10 kilos à travers une série d'injecteurs à l'intérieur d'une turbine spéciale (Fig. 259). Pour conserver à l'égout la fluidité nécessaire, on fait arriver un petit

jet de vapeur sur l'intérieur du tambour (1). Celui-ci est muni d'un manchon conique tournant avec lui et conduisant l'égout dans la nochère qui le reçoit. L'avantage de cette turbine est un démarrage rapide, condition essentielle pour une répartition bien homogène de la masse cuite dans le tambour.

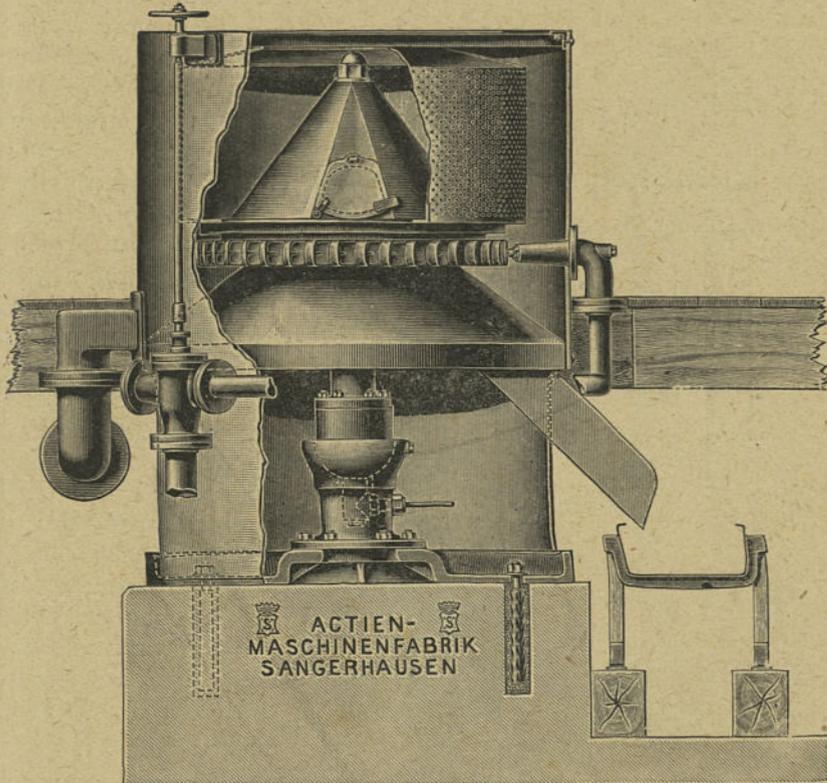


Fig. 259. — Turbine à axe fixe mue par le sirop d'égout (Sangerhausen)

Pompe à chaîne pour l'élévation des masses cuites. (Ketttempumpe. Chain Pump). — Cet appareil se compose de deux tuyaux en fonte verticaux dans lesquels passe une chaîne munie de plateaux en fonte. Ces 2 tuyaux sont réunis à leur partie supérieure par une cuvette portant le mouvement actionnant la chaîne. Le tout est installé au-dessus d'une citerne avec un bac à masse cuite dans lequel plonge le tuyau enveloppant le brin montant de la chaîne. Celui-ci entraîne la masse cuite et l'élève jusqu'à la cuvette supérieure d'où elle s'écoule dans une gouttière en tôle inclinée qui la conduit à l'endroit voulu (Fig. 260).

(1) Il y a d'autres raisons pour maintenir l'égout chaud ; il faut éviter la contamination et aussi la formation de petits cristaux.

La pompe à chaîne n'abîme pas les cristaux de sucre comme le font les boulets des pompes à piston ; son mécanisme est simple, robuste et ne nécessite aucun entretien ni aucune surveillance ; elle n'occupe que fort peu de place et enfin est d'un prix moins élevé que les pompes à piston.

Turbinage (Schleudern ou Centrifugieren ; Draining ou Curing).

— Chaque petite masse m entraînée dans la rotation possède une vitesse v qu'on peut décomposer en tangentielle v_t et en radiale centripète v_c . Ces deux vitesses vont rapidement en augmentant jusqu'à ce que le régime soit atteint. Il résulte de ces accélérations des forces d'inertie correspondantes. La force d'inertie tangentielle donne lieu à une grande absorption de travail. Sous l'influence de la force d'inertie *centrifuge*, chaque petite masse de sirop m gagne la périphérie et sort du panier. Dès lors tout effort centripète ayant cessé la petite masse est libre et elle s'échappe suivant la tangente dans la direction du mouvement.

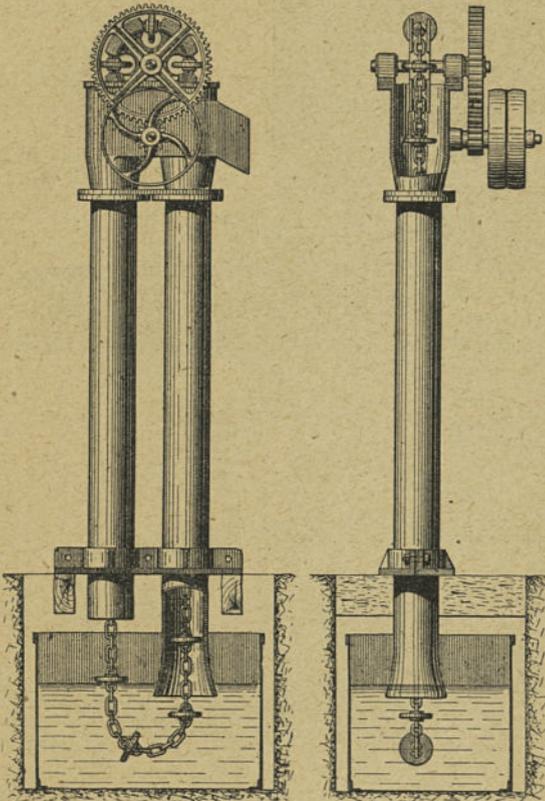


Fig. 260. — Pompe à chaîne pour masse cuite (F. Moret)

Les microcristaux de sucre (grain fin) traversent également la toile mais les vrais cristaux sont retenus. La masse blanchit ; au bout de 2 à 4 minutes elle ne change plus ; mais les cristaux ne sont pas encore suffisamment débarrassés de sirop ; on achève l'opération par le clairçage.

Quand le turbinage d'une masse cuite est difficile, les turbines doivent tourner encore un certain temps une fois la vitesse de régime atteinte. Le turbinage difficile est presque toujours produit par de la farine résultant d'une cristallisation mal conduite, mais il peut aussi résulter de ce que

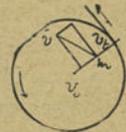


Fig. 261. — Turbinage.

la masse est émulsionnée. L'émulsion se produit quand les bras malaxeurs émergent de la masse et y introduisent de l'air chaque fois qu'ils s'y enfoncent. Le malaxeur doit donc complètement plonger dans la masse. Comme, pendant la vidange, ils émergent forcément et qu'on ne peut pas arrêter le malaxeur sous peine de laisser se déposer des cristaux et de ne plus pouvoir le remettre en marche, sa vitesse doit être assez faible pour ne pas produire d'émulsion. Une vitesse de $1/2$ tour à 1 tour $1/2$ au maximum convient bien pour cela et suffit aussi

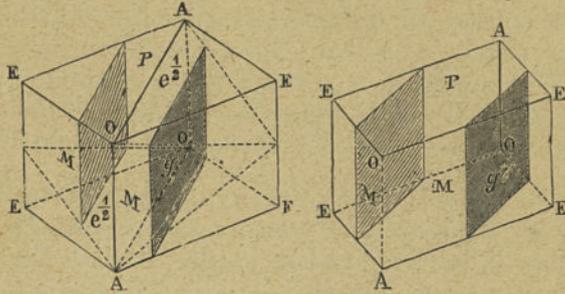


Fig. 262. — Cristaux clinorhombiques de saccharose.

pour maintenir l'homogénéité de température. Le refroidissement des masses cuites ne doit pas être poussé trop loin. Il doit d'abord être réglé d'après le coefficient de sursaturation, qui, dans un travail bien conduit, doit être assez faible ; mais il doit dépendre surtout du degré d'épuisement de l'eau mère, c'est-à-dire de la pureté de celle-ci. Plus celle-ci est faible, plus la température de turbinage doit être élevée, car, avec des sirops impurs, la viscosité augmente plus rapidement à mesure que la température baisse, que dans le cas de sirops plus purs, le coefficient de sursaturation étant le même dans les deux cas. Les masses cuites avec eau mère pure peuvent être refroidies à $40-45^{\circ}$ C., si l'eau mère est plus épuisée, il est préférable de turbiner à $50-60^{\circ}$ C. Un refroidissement entre les cristallisoirs et les turbines est toujours nuisible et doit être évité par des dispositifs appropriés.

Quand on a des masses cuites qui sont d'un turbinage difficile parce que, par suite d'une mauvaise conduite de la cuite, elles renferment de la farine, le mieux est de redissoudre celle-ci dans les cristallisoirs en réchauffant fortement la masse et en ajoutant en outre du sirop d'égout dilué. En agissant prudemment, il n'y a pas à craindre

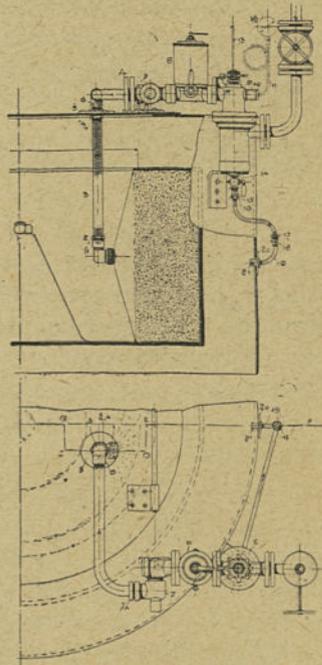


Fig. 263. — Clairage à la vapeur sur chauffée, système Deutsch.

de dissoudre beaucoup de sucre des gros cristaux ; du reste, on peut, sans les cristalliseurs, par un refroidissement bien conduit, faire recristalliser la majeure partie du sucre fondu.

Si les fins cristaux qui empêchent le bon turbinage ne se rencontrent que dans la masse cuite qui se trouve dans les turbines, il faut les enlever par la vapeur lancée de préférence entre le panier et son enveloppe, parce que, dans ce cas, la vapeur agit plus régulièrement et plus lentement, en sorte que l'on ne dissout pas trop de sucre des gros cristaux. Toutefois, ce traitement dans la turbine diminue davantage le rendement que le traitement dans les cristalliseurs (H. Claassen).

Clairçage (Decken, Washing)

1° *Clairçage avec une solution sucrée* (Deckkläre). — On verse dans la turbine pendant qu'elle continue de tourner 2 à 3 litres de clairce, c'est-à-dire de sirop sucré à environ 30° Baumé.

2° *Clairçage à la vapeur* (Dampfdecken, Steaming). — On amène de la vapeur dans le tambour par un petit tuyau perforé placé verticalement et portant un robinet situé près du bâti. La vapeur agit d'abord comme le ferait l'eau, car il s'en condense une partie sur les cristaux ; mais dès que la température de la masse s'est élevée, la vapeur cesse de se condenser : elle entraîne la clairce adhérente au sucre et sèche les cristaux.

Surchauffeur clairceur à vapeur Deutsch. — Cet appareil permet de produire et d'employer facilement la vapeur surchauffée pour le clairçage du sucre dans les turbines. Il comprend (fig. 263) un surchauffeur de vapeur (9) qui sépare la vapeur humide en vapeur sèche qui est injectée directement sur la masse cuite par un distributeur à cône (1), et en eau condensée chaude qui sort par le robinet 14 et est introduite tangentiellement entre le manteau de la turbine et le tambour par le distributeur (21).

3° *Clairçage à l'eau*. — On jette une casserolée d'eau froide dans le panier ou on fait y arriver de l'eau pulvérisée. Si l'on veut avoir du sucre très blanc on ajoute un peu de bleu d'outremer.

Traitement du sucre. — Le clairçage terminé, on débraie le mouvement de la turbine et on fait fonctionner le frein pour arrêter la rotation du tambour. On détache alors le sucre à l'aide d'une palette en bois ou d'un morceau de cuivre rouge denté, on le ramasse au moyen de mains en cuivre rouge ou de pelles en bois ou en aluminium et on le déverse dans les sacs ou dans les trémies communiquant avec un transporteur à hélices ou d'un transporteur à secousses, système Kreiss (Fig. 264).

On monte le sucre au magasin à sucre au moyen d'un treuil s'il est en sacs ou au moyen d'élévateurs à godets quand on se sert d'un transporteur. Puis on le sèche en l'étendant en couche mince qu'on

ratisse de temps en temps ; on le tamise sur des claies ou mieux dans un tamiseur conique pour enlever les agglomérés (rognons ou grugeons) ; finalement on le met dans des sacs qui sont plombés par la régie et qu'on expédie à la consommation ou à la raffinerie.

Composition du sucre. — Le sucre obtenu varie d'aspect et de composition suivant la composition des masses cuites et le mode de turbinage, de clairçage, de séchage, etc...

Pour l'expédition en raffinerie, on fait des sucres roux, pour la consommation directe on fait des sucres blancs.

La composition de ces sucres varie dans les limites suivantes :

	I	II
Sucre cristallisable ou saccharose	98,00 à	99,80
Cendres	0,50 à	0,05
Eau	0,60 à	0,10
Inconnu ou indéterminé	0,90 à	0,05
	100,00	100,00

La valeur d'un sucre est déterminée par son rendement mesuré au raffinage ; c'est ce qu'on appelle son titre. On admet que le ren-

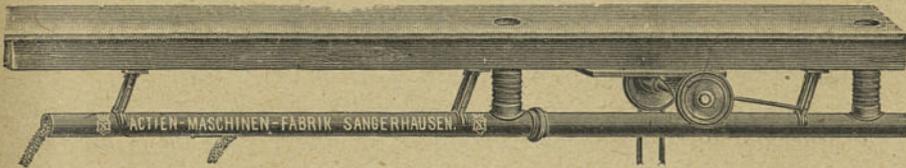


Fig. 264. — Transporteur à secousses Kreiss.

dement au raffinage est égal à la teneur du sucre en saccharose diminuée de 4 fois les cendres et 2 fois le glucose ou sucre inverti, c'est-à-dire que 1 kg. de cendres empêche industriellement la cristallisation de 4 kg. de sucre et que 1 kg. de glucose empêche la cristallisation de 2 kgs. de sucre. Comme il n'y a généralement pas de glucose, on peut, en appelant P la polarisation ou richesse du sucre, c les cendres et T le titre, écrire : $T = P - 4c$.

Le sucre I aurait donc pour titre $98,00 - 0,50 \times 4 = 96$.

— II — — — $99,80 - 0,05 \times 4 = 99,60$

Les sucres en magasin accusent parfois une augmentatoin croissante de sucre inverti, ce qui paraît devoir être attribué à des torulas secrétant de la sucrase.

Egout de turbinage (Ablauf syrup, Swing out ou Drainage).

Le liquide qui sort de la turbine porte le nom d'égout de 1^{er} jet ; la partie qui sort pendant le turbinage à la vapeur s'appelle égout de clairçage ou égout riche.

Les égouts renferment encore beaucoup de sucre qu'il faut extraire.

Le moyen radical consisterait à supprimer ces arrière-produits : on pourrait précipiter le sucre des égouts de 1^{er} ou de 2^e jet par de la chaux ou de la baryte et extraire le sucre du sucrate (voir plus loin), ou bien se servir de ce dernier pour épurer les jus à la carbonatation. L'eau-mère résultant de la précipitation du sucrate serait carbonatée pour enlever l'excès de base, évaporée d'abord au multiple-effet, ensuite dans un four à reverbère, et le résidu calciné donnerait un salin riche en sels. Ce serait le *procédé sucre et salin*.

Traitement des égouts (Nachproducten Verarbeitung, Working of After products). Cristallisations successives. — Avant la cuite en grains, on ne connaissait que la concentration à l'air libre dans des bassines. Le sirop 1^{er} jet cuit au filet était coulé dans de *petits bacs* ou *cristallisoirs* dans des emplis ou chambres chauffées de 40 à 45° C. Au bout de 24 à 48 heures, la masse était cristallisée et bonne à turbiner. On la portait dans un moulin diviseur (fig. 244) où on l'additionnait d'une clairce d'égout de turbinage à 34-36° B°, pour avoir une masse fluide facile à essorer. Le sucre 1^{er} jet obtenu était de couleur blonde et avait un titrage de 92° environ.

L'égout de 1^{er} jet était recuit au filet et coulé en emplis chauffé à 50° dans des *bacs plus grands* d'où on le sortait cristallisé après 6 semaines à 2 mois, pour en extraire, par turbinage, du sucre de 2^e jet plus coloré et titrant environ 88°. L'égout de 2^e jet étant cuit donnait une masse cuite de 3^e jet qu'on faisait cristalliser comme celle de 2^e jet, et ainsi de suite. Le dernier égout de turbinage était de la mélasse livrée à la distillerie et ayant un coefficient salin de 4,5 environ.

A la suite de l'adoption de la cuite en grains, les fabriques qui continuèrent à produire du sucre 1^{er} jet de nuance blonde qu'on appelle dans le commerce la *cuite* ou la *cuite* à 94°, expédiant avec leur sucre une bonne partie de sirop adhérent, *purent épuiser la masse cuite en 2 jets seulement* (2^e jet à 86°) après quoi ils eurent la mélasse.

Mais la majorité des fabricants préféra produire des cristallisés blancs ou des extras pour la consommation directe, et ils ne purent éviter de faire comme autrefois un 2^e et un 3^e jet avant d'arriver à la mélasse.

Travail avec rentrées d'égouts (Rückführung der Abläufe ; After products return). — A partir de 1894, d'après les indications de Raeymackers et de Manoury, on fit des cuites 1^{er} jet systématiques avec rentrées d'égouts par ordre de pureté. On fait un pied de cuite assez pur, ce qui permet d'avoir un grain très dur, car les cristaux sont d'autant plus réguliers que les sirops qui leur ont donné naissance sont plus purs. On alimente ensuite progressivement et méthodiquement avec des égouts de plus en plus impurs. Une fois que l'on a le nombre de grains voulus, il faut les grossir le plus possible et éviter la formation de nouveaux petits cristaux ; pour cela, l'évaporation doit

être conduite lentement, d'où la nécessité d'avoir des appareils à cuire très volumineux dans lesquels on favorise le mouvement, mais sans agitateur mécanique pouvant abîmer les cristaux. On a ainsi un fort rendement en sucre blanc. Si l'on fait des sucres roux, on peut rentrer beaucoup d'égouts dans la cuite. Il suffit de couper le travail de temps à autre quand la cristallisation dans l'appareil devient difficile.

Séparation des égouts. — Pour avoir, avec des rentrées à la cuite,

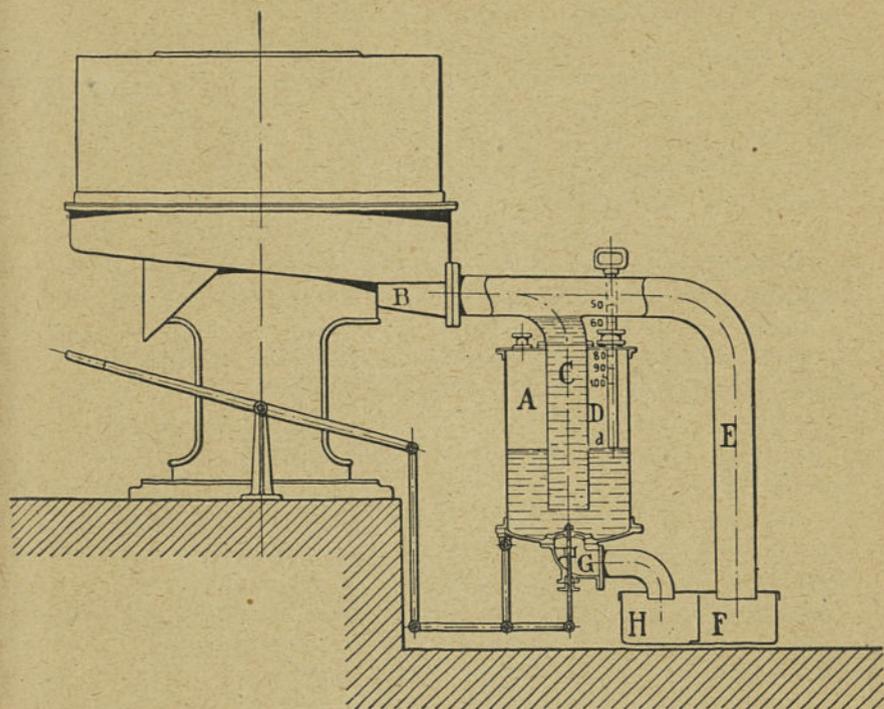


Fig. 203. — Séparateur d'égouts « Auto » (Brevet Breifeld-Danek).

du sucre de belle qualité, on doit claircer abondamment à la vapeur et même à l'eau pulvérisée ou non. Pendant ce clairçage, il sort de la turbine un sirop dont la pureté ne s'écarte pas beaucoup de celle du sirop vierge, et qui peut rentrer dans le travail du 1^{er} jet. On sépare cet égout riche dans une gouttière spéciale sous les turbines, placée à côté de la gouttière des égouts pauvres. L'égout riche est envoyé par une pompe dans le jus qui va à la 2^e carbonatation ou dans le sirop avant sulfitation. L'égout pauvre est divisé en 2 parties : 1^o Une quantité suffisante pour représenter en masse cuite environ le 1/3 de la capacité de la cuite de 1^{er} jet (cette proportion peut varier dans de larges limites suivant la pureté des sirops et des égouts) qu'on dilue

vers 30° B^e environ avec du jus ou de l'eau ammoniacale, qu'on sulfite parfois, qu'on chauffe à 80°-90° et qu'on filtre, sur le sable, de préférence, d'où il coule dans un bac d'attente pour être aspiré dans la cuite au moment où l'on fait les rentrées, c'est-à-dire dans le dernier tiers de la capacité de l'appareil (30 %).

2° Le reste de l'égout pauvre est cuit au 2° jet comme dans l'ancien travail, puis après turbinage, il donne un 3° jet.

La séparation des égouts riches et pauvres est pratiquée dans presque toutes les usines qui font du sucre blanc.

Séparateur Auto. — Les égouts pauvres se déversent par la tubulure de la turbine et le tuyau C dans le récipient clos A pendant que l'air s'échappe par le tuyau amovible D. L'air ne pouvant plus s'échapper, l'écoulement de l'égout pauvre dans le récipient s'arrête et le tuyau C se remplit jusqu'en haut, de sorte que les égouts venant ensuite de la turbine passent au-dessus du tuyau plein C pour aller par le tuyau E dans la gouttière à égouts riches F. Le tube D étant muni d'une échelle graduée en litres, on peut régler sa position de façon à déterminer la quantité d'égout pauvre devant être contenue par le récipient A et le tuyau C. Après avoir arrêté la turbine, l'ouvrier ouvre la soupape G du récipient au moyen d'un mécanisme à levier et les égouts pauvres s'écoulent dans la gouttière H (Fig. 265).

Travail avec Malaxeurs. — Si le travail avec la cuite en grains pour le 1^{er} jet, avec ou sans rentrées, suivi de la cuisson au filet des 2° et 3° jets avec séjour dans les bacs d'emplis, conduit toujours régulièrement au but, qui est l'épuisement suffisant de la masse, cette méthode n'est pas sans inconvénients. On lui reproche d'exiger beaucoup de bacs et de grands bâtiments d'emplis, de demander une assez forte consommation de combustible pour chauffer les emplis pendant plusieurs mois, de retarder de plusieurs mois la réalisation des marchandises et d'encombrer longtemps l'usine, enfin le turbinage des sucres qu'il faut extraire des grands bacs est un travail pénible et coûteux.

La cristallisation dans un appareil à cuire suivie d'une cristallisation en mouvement dans un malaxeur donne, en principe, la *solution du problème d'obtenir rapidement* tout le sucre et la mélasse.

Bien que l'on soumette au malaxage les masses cuites de 1^{er} jet, les seules réellement intéressantes sont les masses cuites de 2° et 3° jets dont l'eau mère peut suffisamment appauvrir pour être considérée finalement comme mélasse et livrée aux distilleries ou à l'alimentation des animaux.

Le travail des cristallisoirs consiste à refroidir progressivement une masse cuite en grains ou au filet dont on amorce la cristallisation par introduction de sucre en grains ou en poussière.

Les 2° jets ou égouts pauvres de 1^{er} jet d'une pureté de 78 environ, peuvent être cuits en grains, mais les 3^{es} jets ne le peuvent pas. Il faut donc s'efforcer d'obtenir tout le sucre cristallisé en 2 jets. Ce résultat

n'est atteint que par un très petit nombre d'usines. La méthode pour cuire en grains les 2^{es} jets sera indiquée plus loin.

Le prix du sucre livré dans la mélasse n'étant pas, dans ces dernières années, de beaucoup inférieur à celui du sucre turbiné, il n'y avait aucun avantage à pousser très loin la cristallisation. Aussi, beaucoup de sucreries supprimaient-elles le travail long, coûteux et pénible des troisièmes jets et livraient-elles à la distillerie la mélasse mal épuisée, c'est-à-dire très riche en sucre. Mais les distillateurs ne trouvèrent pas leur compte dans cette manière de faire, car s'ils ne paient que le sucre contenu dans leur matière première, ils font état, dans leur fabrication, de la quantité de salin de potasse que doit leur livrer la mélasse. Or, la mélasse riche en sucre leur coûtait cher et ne leur donnait pas autant de salin que la pauvre. Ils s'entendirent donc pour réviser les conditions de l'achat des mélasses et décidèrent que la mélasse normale ne devrait pas avoir un coefficient salin supérieur à 5, c'est-à-dire 1 partie de sels pour 5 de sucre.

En conséquence, beaucoup de sucreries sont revenues au travail en 3 jets, qui donne des mélasses avec un coefficient salin voisin de 4,5.

Cuite au filet et malaxage. — La méthode la plus simple pour travailler en 3 jets est de cuire les bas produits au filet et de les faire cristalliser dans les malaxeurs. On peut ainsi obtenir les sucres de 2^e jet après 5 ou 6 jours de malaxage et ceux de 3^e jet après 14 à 15 jours. On gagne donc beaucoup de temps et le travail est beaucoup moins coûteux qu'avec les bacs et la cristallisation lente.

Description des malaxeurs. — Les malaxeurs pour 2^e et 3^e jets cuits au filet doivent être placés dans des salles d'empli avec tuyaux de chauffage permettant de maintenir la température à 35-40° pour les 2^{es} jets et de 40 à 50° pour les 3^{es} jets. Ces températures conservent à la masse en cristallisation une fluidité nécessaire au facile déplacement des molécules de sucre attirées par les cristaux.

Les malaxeurs peuvent être *horizontaux*, en forme de pétrin, traversé par un arbre muni de bras avec palettes et faisant de 1 à 2 tours par minute (Voir plus haut).

Ils peuvent aussi être *verticaux*, c'est-à-dire que l'arbre muni de bras agitateurs est placé verticalement. Cette disposition permet d'utiliser les anciens bacs d'empli, mais le malaxage n'y est pas aussi bien fait que dans les pétrins, parce que les cristaux tendent à rester à la partie inférieure du bac, tandis que du sirop sursaturé surnage à la partie supérieure et cesse de cristalliser, étant dépourvu de cristaux-amorces (Fig. 266).

Malaxeur-refroidisseur Mammoth (Luft-

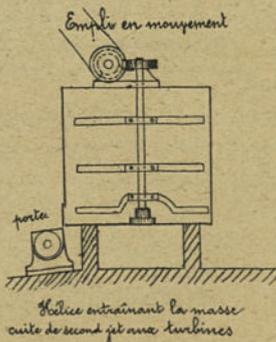


Fig. 266. — Malaxeur vertical.

rührmaische). — M. Quarez place au centre du bac un petit tuyau de 30 m/m dans lequel il envoie de l'air comprimé. C'est la pompe Mammouth, dont il a été parlé pour élever les betteraves, appliquée au pompage de la masse en cours de cristallisation.

Ce malaxeur réalise à la fois l'agitation de la masse et son refroidissement, par suite de la détente de l'air comprimé qui produit le froid. On règle à volonté la chute de la température en faisant fonction-

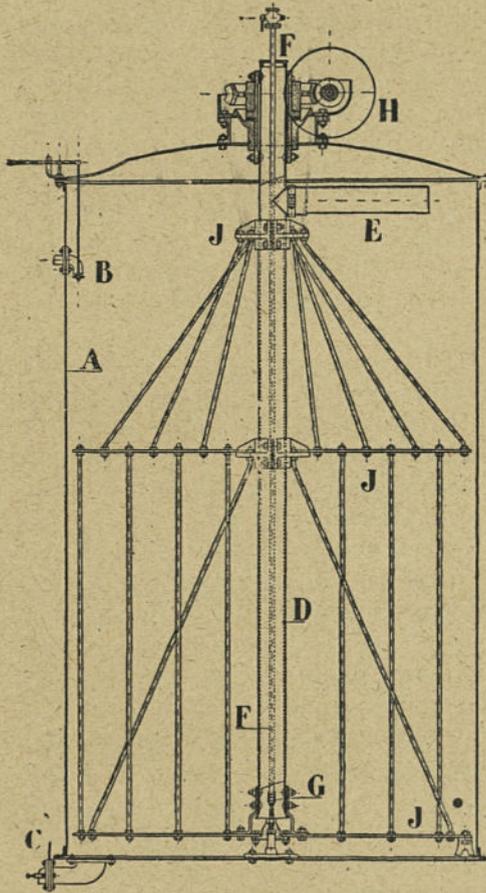


Fig. 267. — Cristallisation en mouvement R. Quarez.

A. Vase malaxeur; B. Soupape d'emplissage; C. Trappe de vidange; D. Tube central tournant (180 mm. de diam.); E. Dégorgeoir fendu en dessous; F. Tuyau d'injection d'air comprimé. pression 1 k. 5 environ; G. Valve de caoutchouc laissant passer l'air et empêchant les cristaux d'entrer dans le tuyau d'air pendant l'arrêt de l'air; H. Mécanisme de vis sans fin faisant tourner la pompe Mammouth, 3 tours par minute; J. Colliers, bras et barreaux agitateurs.

Pour l'air comprimé, un petit Westinghouse de 250 mm. de diam. suffit pour 12 à 15 malaxeurs.

ner l'injection d'air par intervalles plus ou moins éloignés, le mécanisme agitateur tournant constamment. Quand le malaxeur est plein, il suffit de le souffler d'abord 4 fois dans les 24 heures, 1/2 heure à chaque fois pour amorcer la cristallisation. Ensuite on achève le refroidissement en soufflant plus longtemps et quand la masse est à 40° environ, le 5^e jour, on peut la turbiner. Ceci pour le second jet. — Pour le 3^e jet, il faut 12 jours de malaxage.

Les cristaux que fournit le malaxeur-Mammouth sont très développés, bien détachés et d'un turbinage très facile. Le sucre de 2^e jet de cette nature est très apprécié par les raffineries à cause de son facile lessivage par le procédé Steffen.

Système Bosse. — Il comprend des vases cylindriques à fond conique, portant dans leur axe un tuyau de circulation dans lequel on envoie de l'air comprimé par intervalles de 4 à 6 heures. Il en résulte dans tout le vase un mouvement prononcé de

bas en haut et par suite un mélange intime entre les cristaux et l'eau-mère. Le contenu de ces cylindres peut se composer de plusieurs égouts différents cuits au

filet suivant l'antique méthode bien connue. Cet appareil convient donc surtout pour les égouts qui, par suite de leur faible coefficient de pureté, ne peuvent plus être cuits en grains.

Procédé Brunehant. — Les égouts pauvres (73 à 75 de pureté et 7,5 à 8,5 de quotient salin) sont cuits au filet puis envoyés dans les bacs d'empli où ils sont soumis à une agitation continue, grâce à un axe vertical portant des bras horizontaux. On chauffe la salle ou la partie inférieure des emplis pour que la température ne descende pas au-dessous de 40-50°. Le malaxage dure environ 12 jours. *Un malaxeur n'est vidé qu'aux 2/3 ; on coule la cuite sur le dernier tiers qui sert d'amorce.* Les malaxeurs doivent tourner très lentement (1 tour par minute) et par intermittence. Les cristaux n'ont ainsi pas le temps de se déposer au fond et épuisent la région riche qui les entoure ; quelques tours les mettent dans une région ambiante plus riche qu'ils épuisent à leur tour.

Le sucre roux obtenu à l'état pâteux, polarisant de 85 à 90, est refondu immédiatement avec du jus de 2° carbonatation et additionné au sirop avant sulfitation.

Les égouts de turbines à leur sortie sont sursaturés de sucre à une température variable suivant les conditions du travail (45° C en moyenne). Par le refroidissement qui a lieu pendant que ces égouts attendent leur emploi, il y a désaturation naturelle et une certaine quantité de sucre se précipite à l'état de grains fins.

Habituellement, on se contente de redissoudre tout le grain fin en diluant les égouts à 28-30° Baumé ou en les faisant passer dans des réchauffeurs, puis on les rentre dans les cuites.

Le malaxage des seconds jets ne donnant qu'une faible chute de pureté, si l'on veut avoir des mélasses à moins de 60 de pureté, on est obligé d'avoir des cuites ayant 72 à 74 de pureté et par suite de faire des rentrées considérables. Or, les conditions de la cuite en grains se prêtent mal, par suite de la viscosité corrélative du refroidissement, à un épuisement rapide et notable de l'eau-mère. Ces rentrées considérables sont donc une erreur. Elles rendent la cristallisation plus mauvaise et donnent de grands volumes de masse cuite qui exigent de grands volumes de cristallisoirs et plus de travail au turbinage.

Industriellement le problème à résoudre n'est pas seulement d'épuiser le plus possible l'eau-mère qui entoure les cristaux, mais aussi d'obtenir ce résultat avec le minimum de dépense (combustible, etc.) et quelquefois aussi d'obtenir une qualité de sucre déterminée. C'est pourquoi le côté théorique de la question n'est pas le seul à envisager. La cuite méthodique de Steffen est un merveilleux exemple de la théorie pure, mais elle présente des inconvénients pratiques assez sérieux.

Le traitement des bas produits sans cuite en grains mais avec ma-

laxeurs à insufflation d'air donne un travail aussi aisé que la cuite en grains.

Cuite en grains des 2^{es} jets (Kochen auf korn der Nachproducte ; After products graining). — La cuite en grains des 2^{es} jets a pour but d'obtenir de la masse cuite de 2^e jet tout le sucre qu'elle est susceptible de donner et une mélasse suffisamment épuisée, à 4, 5 à 5 de coefficient salin. Très peu de sucreries arrivent régulièrement à ce résultat.

La méthode la plus simple est celle qui consiste à travailler les 2 jets séparément, c'est-à-dire *sans faire de rentrées à la cuite de 1^{er} jet*. On fait toutefois la rentrée des égouts riches de turbinages dans le jus carbonaté ou dans le sirop évaporé.

La cuite de 1^{er} jet est turbinée après malaxage pendant 24 ou 30 heures avec addition de sirop d'égout pauvre des turbines d'une opération précédente. Ce sirop à 36° Baumé (densité 1333) environ est mis peu à peu dans le malaxeur, à une température voisine de celle de la masse en cours de malaxage. Si le malaxage est bien conduit, on observe que les cristaux ont continué de grossir un peu, mais ils ont perdu un peu de leur transparence ; l'eau-mère s'est appauvrie. On turbine la masse à une température de 40 à 45° et l'on obtient du sucre blanc.

Les égouts riches sont rentrés dans le jus ou dans le sirop et les égouts pauvres sont cuits en grains après avoir été généralement sulfités et filtrés sur le sable ou sur toiles.

Une légère dilution avec du jus ou de l'eau ammoniacale suivie d'un chauffage à 80-90° favorise la filtration.

Pour faire la cuite, on concentre jusqu'à la preuve du filet très fort (filet faisant un crochet en cassant) un pied de cuite aussi petit que possible, couvrant juste le serpentín du fond. Le grainage est le point le plus difficile à réussir ; il se fait avec du sirop d'égout préalablement dilué à 30° Baumé et chauffé. Il faut faire de nombreuses charges et concentrer fortement dans les intervalles des charges avant d'apercevoir le grain. Ensuite on doit nourrir le grain par charges pendant plusieurs heures toujours avec du sirop dilué. L'alimentation continue ne peut se faire que lorsque le grain est devenu assez fort, nerveux et dur ; quand la cuite est à moitié pleine, on peut y introduire du sirop de moins en moins dilué, mais toujours chaud, pour finir avec de l'égout à 36° Baumé, pesé chaud.

L'opération qui dure au moins 22 heures, souvent plus, demande à être conduite très lentement, sans aucune brusque variation, ni dans le vide, ni dans la température, ni dans la concentration. Le vide doit être d'environ 55 cm. au moment du grainage pour s'élever peu à peu jusqu'à 62-65 cm. au moment du coulage.

Le coulage se fait dans des malaxeurs où la masse cuite doit continuer de cristalliser pendant environ 60 à 72 heures, pendant qu'elle

se refroidit peu à peu jusque 35-40° et qu'on l'additionne de mélasse épuisée de plus en plus diluée et chauffée à une température voisine de celle de la masse.

Le turbinage se fait en chargeant les turbines d'une quantité de masse cuite d'autant moins forte que le grain est plus fin.

On reproche à ce mode de travail de donner un sucre de grain trop fin, une masse pâteuse difficile à turbiner ; de sorte qu'à cause du grain fin qui s'échappe à travers les mailles des toiles des turbines et du clairçage énergique qu'on est souvent obligé de faire, la mélasse est rarement épuisée au point voulu.

Procédé Simplex. — Le procédé Simplex est un tour de main supprimant la difficulté du grainage. L'appareil à cuire les 2^{es} jets est réuni par un gros tuyau avec le fond de l'appareil à cuire les 1^{ers} jets, un robinet ou une vanne permet la communication à volonté entre les deux appareils. On s'arrange pour avoir évaporé le pied de cuite de 2^o jet lorsque le moment de couler la cuite de 1^{er} jet est arrivé. L'évaporation de ce pied ne doit pas être poussée jusqu'au filet, mais un peu moins, ce que le cuiseur juge d'après l'ébullition. On casse alors le vide de la cuite 1^{er} jet pour la vider, mais, avant de vider on ouvre la communication entre les deux appareils pour aspirer dans le pied de cuite 2^o jet une certaine quantité de masse 1^{er} jet (soit environ 10 à 15 p. % de la capacité de l'appareil 2^o jet.)

Les cristaux de 1^{er} jet servent ainsi d'amorces pour ceux de 2^o jet et le *grainage*, si difficile avec de l'égout pauvre, se trouve supprimé. La cuite est continuée avec lenteur comme précédemment pour ne faire qu'une seule opération par 24 heures. Après malaxage et dilution pendant 60 à 72 heures environ, on peut turbiner facilement grâce à la présence des gros grains de 1^{er} jet. On évite donc l'excès de clairçage et l'enrichissement de la mélasse qui en résulte.

Ce procédé donne en réalité un travail moins difficile que le précédent, mais l'addition de masse 1^{er} jet dans celle de 2^o jet ne laisse pas d'enrichir celle-ci et de la rendre assez difficile à épuiser. Aussi faut-il exercer un contrôle très suivi de la station de malaxage, régler avec un grand soin les chutes de température ainsi que la concentration et la température de la mélasse ajoutée peu à peu pour diluer la masse sans l'amener au-dessous du point de saturation nécessaire pour l'accroissement des cristaux, ni sans la laisser prendre sous l'action du refroidissement une concentration trop forte qui provoquerait dans l'eau mère sursaturée une précipitation de petits cristaux qui empâterait toute la masse et donnerait un mauvais turbinage.

Malaxeurs spéciaux pour 2^{es} jets cuits en grains. — En vue de pouvoir régler à volonté le refroidissement des masses cuites de 2^o jet en grains, on emploie généralement des malaxeurs à circulation d'eau. Les plus anciens étaient des pétrins à double enveloppe, avec admission d'eau entre les 2 parois. On a aussi fait usage en Allemagne des

cylindres horizontaux à enveloppe d'eau, avec mécanisme agitateur à l'intérieur, fermés par un dôme muni d'une porte étanche et d'une tuyauterie permettant d'établir le vide au-dessus de la masse. On

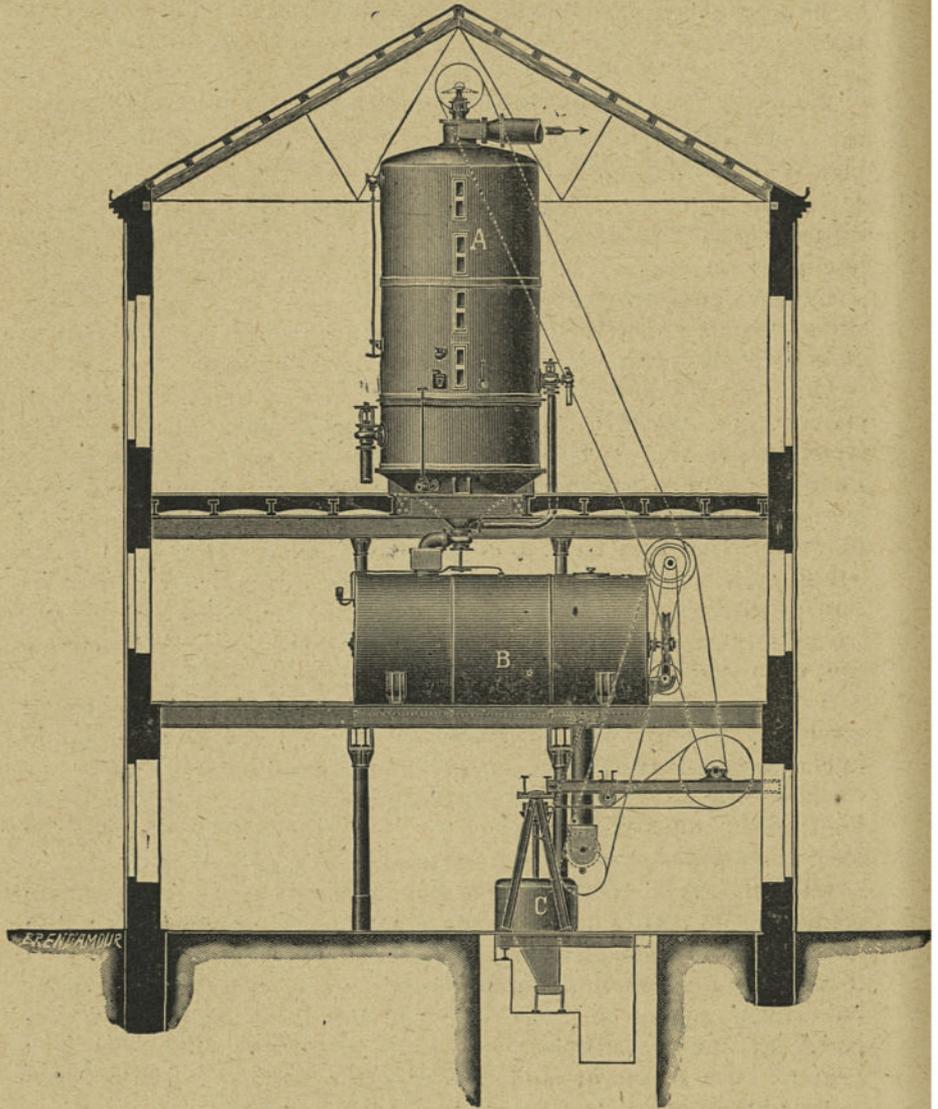


Fig. 268. — Cuite en grains des égouts par le procédé H. Claassen (Ateliers de Grevenbroich).

effectuait ainsi l'évaporation partielle de l'eau au fur et à mesure de la cristallisation, dans les premières heures du malaxage, l'eau mère restait donc sursaturée et nourrissait plus longtemps les cristaux. On

faisait ensuite intervenir le refroidissement pour terminer la cristallisation.

Le malaxeur-refroidisseur, qui est actuellement le plus répandu, est celui de Ragot et Tourneur (voir plus haut).

Procédé H. Claassen. — Ce procédé de travail des bas produits est basé sur les études de cet auteur relatives à la cristallisation du sucre et à la viscosité des égouts.

Pour une bonne cristallisation du sucre, il faut, d'après Claassen, maintenir dans de certaines limites, variables suivant les diverses phases de la cuite, la proportion d'eau ; en outre régler le coefficient de sursaturation suivant la pureté de l'égout et enfin régler la température suivant la pureté de l'égout, le vide dans l'appareil et la proportion d'eau.

Dans ce but, on se sert d'un appareil à cuire vertical A avec agitateur (fig. 268), de tables dressées par Claassen et de son appareil de contrôle, analogue à celui de Curin décrit plus haut.

On évapore d'abord avec de la vapeur vive jusqu'à formation de cristaux, puis on arrête le chauffage et, par le tuyau de distribution (voir plus haut les études de Claassen) on injecte de la vapeur sèche. La masse cuite conserve la même concentration et la même température sans s'évaporer ni se diluer, mais elle cristallise, grâce au mouvement produit par l'injection de la vapeur. On laisse la cristallisation se continuer jusqu'à ce qu'il se soit formé un nombre suffisant de grains. On arrête l'injection directe, on chauffe de nouveau par surface et on aspire du sirop pour avoir dans la masse la proportion d'eau indiquée par la table.

A ce moment, on aspire de nouveau du sirop d'égout ou bien on arrête le chauffage par surface et on continue de cuire avec une faible sursaturation jusqu'à ce que la masse cuite ait une pureté de 65 avec une teneur en eau de 8 p. 100, résultat que l'on atteint au bout de 74 heures avec des égouts à 70-76 de pureté et au bout de 36 heures avec des égouts à 80 de pureté.

On vide ensuite la cuite A dans les cristallisoirs Bock B et on laisse cristalliser d'abord à chaud, puis à froid. Pour maintenir la fluidité de la masse à basse température, on ajoute une certaine quantité d'eau. Après 5-6 jours, la masse ayant une température de 55° C, on l'envoie aux turbines C par une hélice entourée d'une chemise pour empêcher le refroidissement. Le sucre obtenu titre 84 à 85 et l'égout a une pureté apparente de 60° et même 57°, si le malaxage a été suffisamment prolongé (pureté réelle 54,5-55,5).

Au lieu de faire un pied de cuite d'égout, on peut aussi, pour provoquer la cristallisation, aspirer environ 15 p. 100 de sucre cristallisé.

Cuite en grains des bas produits. Sucre et mélasse. Procédé Karlik Czapikowski. — Les fabricants de sucre autrichiens ont en général,

toujours été d'avis de traiter leurs masses cuites de premier jet, pures, sans rentrées d'égouts, et de les serrer très fort (3,5—4 p. 100 d'eau) pour obtenir le maximum de rendement. Avec leurs appareils horizontaux (genre Iellinek), ils ne craignent pas la forte sursaturation de l'eau mère ; ils la poussent, au contraire, méthodiquement, aussi loin que possible au fur et à mesure de l'épuisement, cette sursaturation étant le seul état physique qui provoque la cristallisation. Dans le procédé Karlik-Czapikowski, les égouts de 1^{er} jet, au sortir de la turbine, accusent un quotient de pureté réelle de 77 à 79. Ils sont envoyés dans des réservoirs en charge sur 2 ou 3 chaudières de sulfitation pourvues d'un mélangeur mécanique et disposées de façon à pouvoir y amener de l'eau chaude pour la dilution et du lait de chaux pour le chaulage ; elles sont en outre pourvues d'un système quelconque de chauffage à vapeur.

La dilution se fait à 12-35° Baumé à la température de 80° C, en

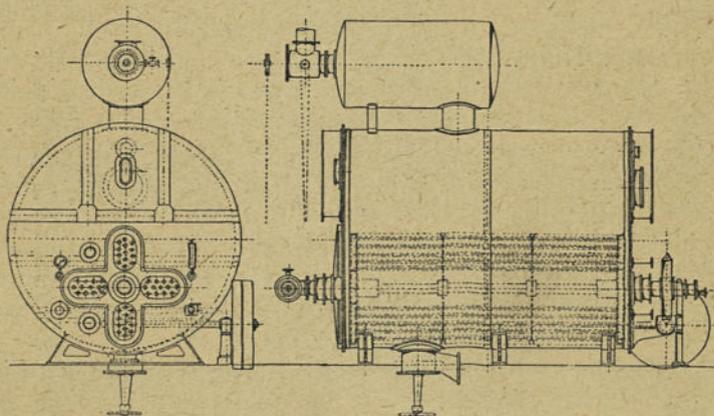


Fig. 269. — Cuite Karlik Czapikowski (Breitfeld-Danek).

sorte que la quantité d'eau ajoutée est très faible ; on emploie, du reste, les petits jus provenant du désucrage des filtres à sable, des petits jus de filtres-presses et d'eau chaude de l'usine. Le sirop d'égout doit être franchement alcalin (200 gr. par hectol.) d'une alcalinité due à la chaux. On le réchauffe à 90° C et on le sulfite jusqu'à neutralité à la phtaléine. Il faut environ 1800 gr. de soufre par 100 k. de sirop.

On filtre dans les filtres à sable décrits ci-dessus. Les sirops d'égout filtrés sont cuits en grains sans aucune amorce dans un appareil horizontal de forme cylindrique (fig. 269). La surface de chauffe est constituée par des tubes en acier reliant entre elles deux chambres ayant la forme d'une croix ; l'une d'elles sert à l'arrivée de la vapeur, l'autre à la sortie des eaux condensées. Des portes boulonnées ménagées à l'avant et à l'arrière permettent de tuber et de détuber. Tout le faisceau tubulaire comprenant les 2 boîtes et les tubes tourne à la

vitesse d'un tour par minute. Surface de chauffe 30 mq pour 15.000 kilog. de masse cuite.

La principale raison qui a guidé les inventeurs, c'est que comme l'a démontré Raeymackers vers 1894, le *maximum d'épuisement s'obtient en laissant le minimum possible d'eau dans la masse cuite*. Il n'est pas facile de « serrer » les masses cuites impures. Les appareils verticaux d'une hauteur démesurée et pourvus d'un mouvement mécanique hélicoïdal ne le permettent pas ; la limite est de 6 à 7 p. 100 d'eau et on n'y arrive qu'au bout d'un temps très long. Il faut un moyen mécanique pour atteindre toutes les parties de la masse et faciliter le déplacement du grain. Or, dans les appareils verticaux à haute colonne le mouvement hélicoïdal central est insuffisant et le dégagement des bulles formées au bas de l'appareil est impossible ; de là la difficulté de *serrer* dans un temps relativement court.

Dans l'appareil K-C, la masse cuite est remuée dans toutes ses parties et il est facile de serrer à 4 p. 100 d'eau. Voici comment se

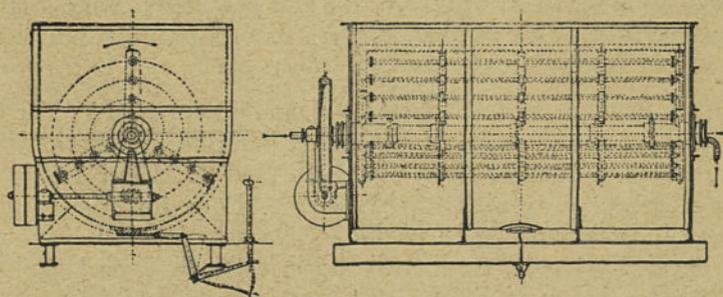


Fig. 270. — Réfrigérant Karlik-Czapikowski (Breitfeld-Danek).

fait la cuite. On fait arriver le sirop d'égout (réchauffé à 80° par de la vapeur d'échappement) jusqu'à ce qu'il recouvre l'arbre central, puis on concentre jusqu'au moment de la formation du grain, sans dépasser 80-83° C. Aussitôt qu'on a formé assez de grains, on aspire de nouveau du sirop d'égout en quantité suffisante pour diluer la masse mais sans redissoudre du grain.

La concentration qui était de 89-90° Brix tombe à 86-87. On tient ensuite la température un peu plus basse, on serre, on relève la température à 80-83° C. et on ajoute de nouveau du sirop. On recommence ainsi une dizaine de fois, puis on serre la cuite à 4-5 p. 100 d'eau.

Au moment de la coulée, pour faciliter la vidange de la masse cuite, on lui incorpore un peu de mélasse épuisée provenant d'une opération précédente, pour lui rendre environ 8 p. 100 d'eau. On coule dans le réfrigérant K.-C. C'est un bac en forme de pétrin dans lequel tourne un faisceau tubulaire analogue au précédent. On active le refroidissement par une circulation d'eau froide dans les tubes. La

température est abaissée de 70 à 30 et même à 25° si le temps le permet : plus on abaisse la température, plus on a de rendement, c'est-à-dire plus on abaisse le quotient de pureté de la mélasse. On arrive souvent à 54. (Fig. 270).

Comme le turbinage serait impossible à une température aussi basse, on remonte celle-ci jusque 45 à 50° C en faisant passer dans les tubes un courant d'eau chaude. Trois réfrigérants suffisent pour un appareil à cuire ; la durée du refroidissement, du réchauffage et du turbinage est de 70 heures au maximum.

Durant le refroidissement il faut ajouter à la masse, à intervalles déterminés, de la mélasse épuisée pour lui rendre l'eau nécessaire au malaxage et au turbinage. Le turbinage est lent ; il faut moitié moins de turbines que pour le 1^{er} jet quoique l'on n'ait à traiter que 17-18 k. de masse cuite de bas produits pour 100 k de masse cuite de 1^{er} jet. Le sucre obtenu titre 88-89, on peut le mélanger au sucre 1^{er} jet ; la raffinerie n'y fait aucune objection parce que le grain est suffisamment dur pour se laisser affiner. S'il s'agit de sucre destiné à la consommation directe, on refond ce sucre de bas produit dans les jus filtrés de 2° carbonatation.

Système Prangey et de Grobert. — Dans un appareil à cuire quelconque relié à un cristalliseur horizontal par une tuyauterie de 150 mm, on prépare avec du sirop viergé un pied de cuite à grains bien détachés exempt de grains fins ou farine. Pour un cristalliseur de 255 hectol. le volume de ce pied de cuite est d'environ 60 hectol. Quand le pied est prêt, on l'envoie au cristalliseur dans lequel on a préalablement fait le vide. Pendant tout le reste de l'opération, on ne doit pas former de nouveaux cristaux : ce sont ceux du pied ou amorce qui doivent attirer tout le sucre disponible contenu dans les égouts qu'on veut épuiser. Une fois le pied de cuite coulé dans le cristalliseur, on l'alimente avec les égouts pauvres de 1^{er} jet et on conduit l'opération comme une cuite ordinaire jusqu'à ce que l'appareil soit rempli, ce qui dure environ 36 heures pour des égouts à 72 de pureté. Ces égouts sont préalablement sullités, dilués à 28-30° Baumé à chaud (80° C) et filtrés. La température de la masse est d'environ 60° C avec un vide de 60-65 cm. de mercure. Lorsque l'opération touche à sa fin, on serre à 7,5-8 p. 100 d'eau réelle, puis on la coule dans un malaxeur où on la laisse refroidir jusqu'à la température de turbinage, soit 40° C, sans addition de liquide. A ce moment, on ajoute une petite quantité de *mélasse* provenant d'une opération précédente et on envoie aux turbines. L'égout obtenu est de la mélasse complètement épuisée dont la pureté apparente varie, suivant les betteraves, entre 58 et 54° P.

Le sucre obtenu est soumis à l'affinage. Dans un malaxeur quelconque on verse une certaine quantité d'égout pauvre à 36° B°, puis le sucre brut des turbines ; on malaxe légèrement puis on passe aux

turbines où l'on claire pour produire du sucre blanc n° 3 ou du roux de 1^{er} jet dit « cuite » suivant les conditions du marché. L'égout d'affinage retourne aux égouts pauvres pour être épuisé au cristalliseur comme ci-dessus. Ce procédé donne du sucre et de la mélasse épuisée sans re-fonte et sans rentrées d'égout dans les appareils à cuire.

En employant du sirop vierge, au moins pour le grainage, pour former l'amorce, on est certain que le grain sera régulier et suffisamment abondant pour assurer l'épuisement ultérieur des égouts à désucre, et on peut séparer les égouts riches du turbinage pour les renvoyer directement au premier jet. Ce procédé permet le travail des égouts 1^{er} jet issus d'un turbinage de la masse cuite en sucres roux. Si l'on turbine en roux une masse cuite ayant une pureté de 90-93 et si la cuite est bien grainée, l'égout n'a que 73-75 de pureté, au maximum, et on ne peut pas le cuire directement en grains sans amorce.

Le cristalliseur employé se compose d'un cylindre à axe horizontal (2 m. 35 diam. et 5 m. 70 long.) en forte tôle avec fonds en tôle, à l'intérieur duquel tourne un arbre portant deux séries d'hélices ; une série d'hélices cylindriques de diamètre presque égal à celui du cylindre et une série d'hélices coniques, c'est-à-dire tracées sur des cônes ayant tous leurs sommets sur l'axe de l'appareil. Les premiers propulsent la masse soumise à leur rayon d'action dans le sens parallèle à l'axe du cylindre ; les secondes reprennent cette masse et la ramènent vers l'axe, puis, au bout du parcours, la masse est renvoyée vers la périphérie où les hélices cylindriques la reprennent.

Procédé Kestner et Lagrange. — Dans ce procédé on fait la cuite au filet sous la pression atmosphérique en concentrant

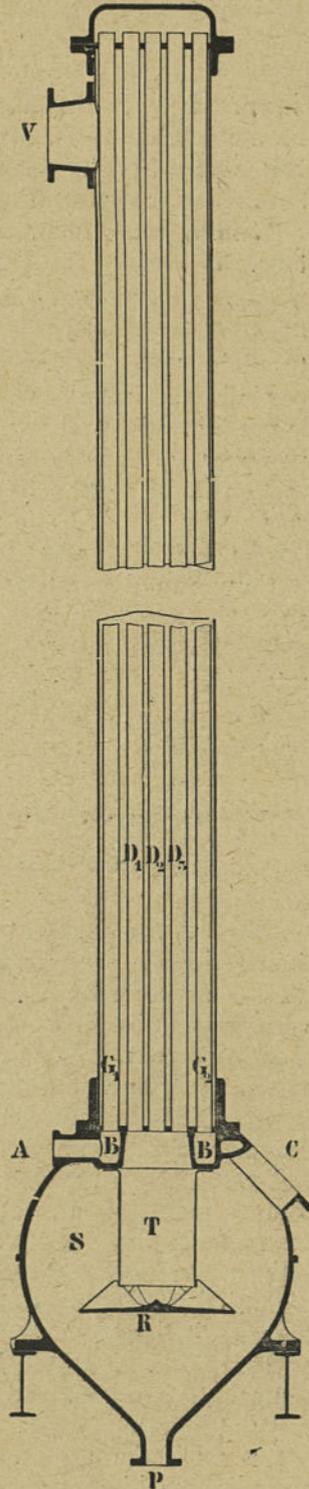


Fig. 271. — Evaporateur Kestner à descentage.

jusqu'à une teneur en eau de 5 à 6 p. 100. Le point d'ébullition monte jusqu'à 126-129°, mais cette température dure très peu de temps parce que la concentration se fait d'une façon continue dans l'évaporateur à *descendage* de Kestner.

Les sirops et égouts sont mis à cristalliser au sortir de l'évaporateur.

Evaporation à descendage de Kestner. — L'appareil se compose d'une série de tubes G. G₂ situés à la partie annulaire du faisceau tubulaire et par lesquels grimpe le liquide à concentrer entrant en A par la boîte annulaire de distribution B. Arrivé à la partie supérieure, le produit redescend par les tubes centraux D₁ D₂ D₃, finit de s'évaporer, passe dans le canal T, rencontre la chicane centrifuge R et sort en P. La vapeur de chauffage entre en V et la vapeur de jus sort en C. (Fig. 271). Cette vapeur est utilisable dans divers endroits de l'usine, car elle a plus de 100°.

En partant d'égouts premier jet ayant 76 à 78 de pureté, on obtient en 24 heures de la mélasse épuisée et du grain parfaitement turbinable. Le grain est très dur parce qu'il a été formé à haute température.

CHAPITRE XV

Force motrice en sucrerie. — Production et utilisation de la chaleur.

Dans les premiers appareils à évaporer d'Howard, la pompe à air était actionnée par une machine à vapeur à condensation ; la chaudière à évaporer ou à cuire et la machine avaient donc chacune un condenseur séparé. Ce fut Rillieux qui eut l'idée d'utiliser la vapeur d'échappement de la machine pour chauffer l'appareil à évaporer. Ce système fut partout adopté, et comme la vapeur d'échappement des moteurs était utilisée, on ne se soucia pas beaucoup d'employer des machines économiques.

La préoccupation dominante dans le choix des moteurs était de réduire la surveillance et l'entretien en *cours de fabrication* ; aussi ces moteurs étaient-ils à allure très lente, à faible détente, avec boîte à tiroir placée en contre-haut du cylindre et de spacieuses conduites d'admission. Toute l'eau condensée présente dans la boîte à tiroir descendait dans le cylindre où elle était rééaporée à chaque mise en communication avec l'échappement. On poussait ainsi au maximum l'influence des parois que l'on évite avec tant de soins dans les distributions modernes.

Les perfectionnements dans la fabrication amenant l'emploi de nouvelles machines, on adopta généralement, dans le but de diminuer

les transmissions, des moteurs à action directe, dont les vapeurs d'échappement peuvent être utilisées au chauffage du triple-effet. Mais par ce système on arrivait à avoir dans l'usine un nombre considérable de moteurs, qui faisait ressembler une fabrique de sucre à une exposition de machines à vapeur.

En 1880 un ingénieur autrichien, Hugo Iellinek, l'inventeur de la carbonatation trouble, appela l'attention sur les inconvénients que présente ce système, et conseilla d'employer un seul moteur à grande détente et à *condensation* et d'envoyer uniquement de la vapeur directe dans le triple-effet. De cette façon, on supprimerait un grand nombre de petits moteurs qui présentent chacun un piston et des calffats à entretenir et des organes à graisser, mais on perd le calorique contenu dans la vapeur d'échappement. Ce système n'est adopté que quand on trouve difficilement l'utilisation de la vapeur d'échappement, par exemple dans les *râperies* où il n'y a à chauffer que la batterie de diffusion ; dans ce cas on peut employer avantageusement un moteur à condensation et chauffer la batterie de diffusion par de la vapeur directe.

Aujourd'hui on adopte le plus souvent le moteur unique, mais on se contente de le faire à grande détente et d'utiliser la vapeur d'échappement pour le chauffage de l'appareil à multiples effets. Il faut bien reconnaître cependant que ce système est dangereux. On a remplacé la grande courroie par des câbles, mais le moteur lui-même peut se briser.

Le système qui paraît le meilleur consiste à avoir un moteur en tête actionnant l'atelier de lavage, la râperie, etc., et un moteur en queue commandant les pompes à air, les turbines, etc.

En cas d'avarie de l'un des moteurs, on fait marcher l'autre à pleine admission (ou du moins à 60 % d'admission au lieu de 30) et on le charge de la commande de toutes les transmissions de l'usine. Si l'on est obligé de diminuer la production journalière on évite du moins un arrêt complet toujours désastreux.

On conserve géné-

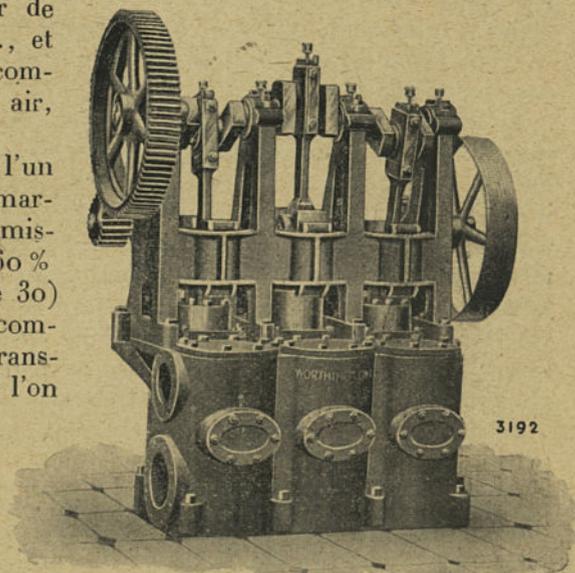


Fig. 272. — Pompe à trois corps (Worthington).

ralement encore la machine motrice de la pompe à gaz. Cette pompe n'est pas susceptible d'arrêt, car la bonne marche du jour en dépend : nous avons vu, en effet que la pompe à gaz est le régulateur du four à chaux.

Depuis quelques années, on emploie beaucoup les transmissions électriques. Celles-ci permettent de diminuer les longueurs des tuyauteries, de déplacer les appareils à volonté, etc... On a recours à l'électricité pour la commande des appareils de chargement des betteraves, des élévateurs, des transporteurs, des coupe-racines, des défourneurs mécaniques, des broyeurs de chaux (à boulets ou à tubes), des ventilateurs aspirant les gaz des fours à chaux remplaçant les pompes à gaz, des turbines, etc. Chose assez curieuse, on n'emploie que fort peu l'électricité dans quelques sucreries installées récemment aux États-Unis. On y rencontre le moteur unique et les pompes à 3 corps (fig. 272). Pour les transmissions intermédiaires on a supprimé toutes les poulies fixes ; toutes les poulies sont indépendantes de la transmission et ne marchent avec elle que lorsque l'on fait fonctionner un embrayage ou *clutch*.

Ce *clutch* se compose d'une pièce en acier coulé D clavetée sur l'arbre et portant de 4 à 8 évidements dans lesquels coulissent des leviers FG qui poussent des sabots ou coulisseaux C munis de lamelles en bois E (Fig. 273).

La poulie est libre sur l'axe ; sur ses rayons sont boulonnées les attaches d'un manchon ou contre-poulie B dans l'intérieur duquel les sabots viennent prendre leur adhérence quand on pousse un levier K commandé par une vis v à volant V.

Dans les endroits très humides, on a remplacé les courroies par des chaînes de Galle.

Le *clutch* est très avantageux pour les laveurs où une simple résistance, une grande quantité de betteraves font fréquemment tomber les courroies ; si le laveur est calé, le bois du *clutch* brûle et il suffit de le remplacer ; rien ne peut casser. Le *clutch* est aussi très avantageux pour la commande des coupe-racines de grand diamètre avec une charge de 4 m. de betteraves ; on peut mettre en route sans détourner et sans enlever de betteraves comme il faudrait le faire avec les courroies. Il semble cependant qu'il est préférable de conserver les pompes centrifuges avec la commande électrique pour pouvoir supprimer les longues tuyauteries.

La force motrice étant produite par la détente de la vapeur, nous allons dire quelques mots de cette détente.

Quand un gaz ou une vapeur se détend sans changer de température, la détente est *isothermique* ; quand cette détente se fait sans perte ni gain de chaleur à travers la paroi extérieure, elle est *adiabatique*. Le premier phénomène est représenté par une courbe AB (fig. 274) ayant pour équation $pv = \text{constante}$, le 2°, par une courbe

CD ayant pour équation $p v^\gamma = \text{constante}$. Les deux courbes ont une forme analogue, mais elles sont inégalement inclinées sur les coordonnées OA et OP (voir aussi pompe à gaz).

La compression isothermique ou adiabatique produit des phénomènes inverses.

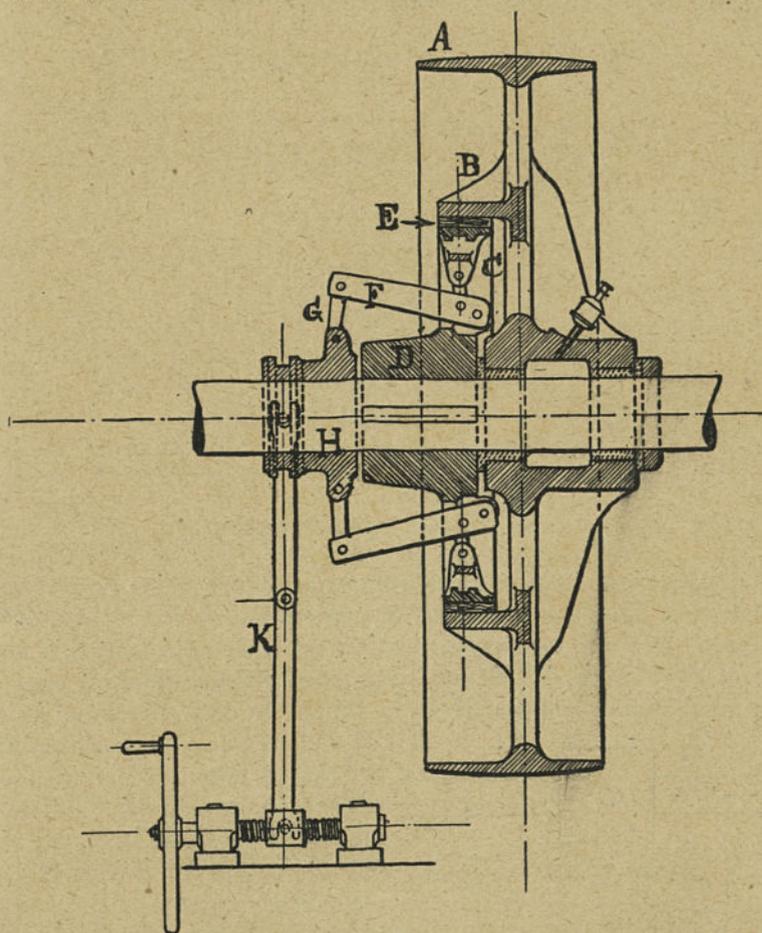


Fig. 273. — Clutch (Maguin à Charmes),

La détente peut se faire sans production de travail extérieur ou avec production de travail extérieur.

Examinons spécialement le cas de la vapeur d'eau :

1° *Détente isodynamique (sans travail)*. — Supposons un tuyau amenant de la vapeur à 15 k. effectifs (200°C), un détendeur idéal D (275) et un tuyau recevant la vapeur d'étendue, sans travail à 1 k. effectif. La quantité de chaleur mise en liberté par la détente est $\lambda - \lambda' = 0,305 (200 - 120) = 24,4$ calories. La chaleur spécifique de la vapeur d'eau sous pression constante étant de 0,475, ces 24 cal. 4

suffisent pour surchauffer la vapeur de $24,4 : 0,48 = 51^{\circ}$, ce qui porterait la température de la vapeur d'étendre à 171° C. (Fig. 275).

2° *Détente avec travail*. — Dans une machine à vapeur, la vapeur sous pression est amenée, pendant que le piston se déplace de AB en A'B' (Fig. 276). La vapeur restant en communication avec le géné-

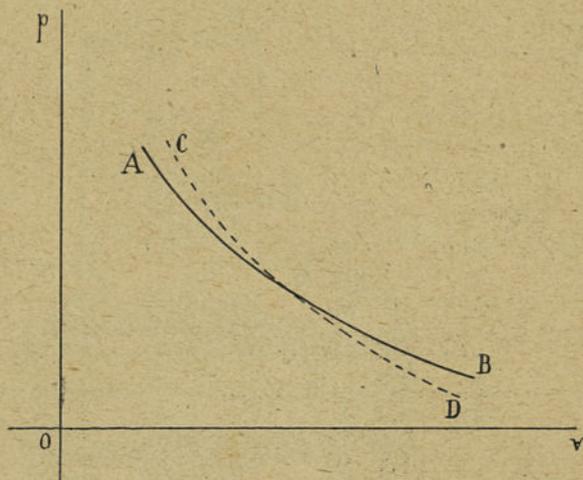


Fig. 274. — Détente isothermique adiabatique.

rateur, garde une température constante et par suite une pression constante, la ligne des pressions est une isotherme et une isobare $p =$ constante. Dès que la communication est interceptée entre la chaudière et le cylindre, la détente commence en A'. Pendant cette détente adiabatique, une partie de la vapeur se condense pour fournir

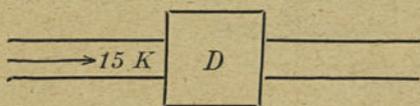


Fig. 275. — Détente adiabatique et isodynamique.

les calories qui se transforment en travail. L'équation de la courbe des pressions est $pv^{\gamma} =$ constante, mais par suite de l'eau entraînée et de l'action des parois, γ a une valeur très voisine de 1, et on peut

écrire pour cette courbe $pv =$ constante, qui est celle de la loi de Mariotte et est une hyperbole sensiblement équilatère. Le travail de la détente est donné par la formule

$$T = \int_p^{p'} p dv = vp \text{ Log } \frac{p}{p'} = 2,3026 \log \frac{p}{p'}$$

v vol de la vap. à la pression p . en m^3 , p et p' les pressions extrêmes de la vapeur en kilog. par m^2 .

Cette courbe est facile à tracer (fig. 277).

La *puissance indiquée* d'un moteur à vapeur à piston, c'est-à-dire le travail dans le cylindre, sur le piston, est égale au produit de la

le travail disponible sur l'arbre et le travail indiqué dans le cylindre ; il est d'autant plus grand que les organes qui transmettent la force, depuis le piston jusqu'à l'arbre moteur sont établis avec plus de soins, que les ajustements sont plus précis, que les surfaces de frottement sont mieux rodées. C'est un coefficient individuel et non un coefficient d'espèce.

Dans les moteurs Dujardin (fig. 278), la distribution de la vapeur est faite par des pistons-valves équilibrés. On y emploie des pistons distributeurs indépendants pour l'admission et pour l'échappement, installés verticalement dans les fonds des cylindres. Le cylindre est

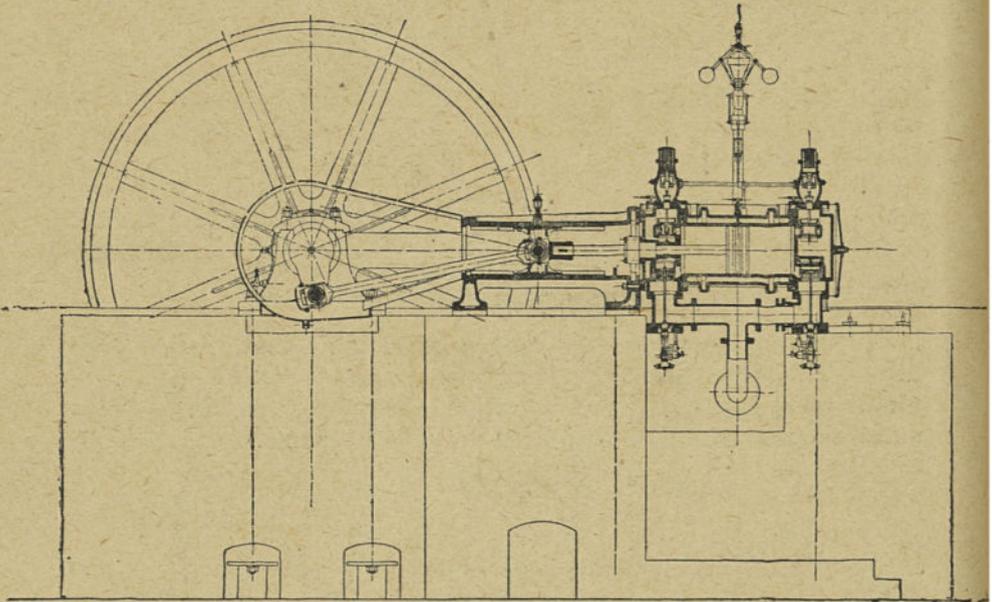


Fig. 278. — Machine à pistons-valves (Dujardin et Co, Lille).

un simple tube tandis que les fonds constituent des réservoirs de vapeur et contiennent les organes de distribution. Ce sont des lanternes cylindriques percées sur toute leur périphérie de lumières verticales débouchant dans un canal circulaire aboutissant au cylindre. Dans chacune des lanternes se meut un piston distributeur dit *piston-valve*, formé par un simple anneau cylindrique en fonte spéciale, garni extérieurement de segments et intérieurement de nervures reliées à un moyeu central qui sert de point d'attache à la tige de commande. Quand l'anneau mobile formant le piston-valve est en regard des lumières, la communication avec le cylindre est interceptée. Un déplacement vertical découvre les lumières et donne passage à la vapeur (fig. 278 bis).

Les distributeurs d'admission sont entourés par la vapeur vive qui,

après avoir circulé autour du cylindre, remplit les fonds qui forment ainsi réservoirs de vapeur. Elle traverse de part en part des pistons-valves d'admission. Lorsque ceux-ci sont soulevés, la vapeur traverse les lumières et pénètre dans le cylindre. Depuis son entrée dans l'enveloppe jusqu'à son arrivée derrière le piston, elle suit un parcours ascendant très favorable pour éviter les entraînements d'eau.

Les orifices d'échappement se trouvant en contre-bas de la génératrice inférieure du cylindre, l'eau que celui-ci peut contenir ou condenser se trouve naturellement évacuée à chaque course du piston.

Turbines à vapeur. — Les turbines à vapeur qui, d'une façon générale, ne sont avantageuses qu'à partir de

1500 à 2000 chevaux, ne sont pas à recommander en sucrerie. Leur rendement baisse rapidement par l'usure des aubes et des distributeurs sous l'influence des frottements de la vapeur ; de plus, elles présentent moins de sécurité que les machines à piston, car l'usure des coussinets, une légère déviation des axes, les dilatations inégales peuvent entraîner des vibrations, des ralles d'ailettes et de désagréables et dangereux incidents de toute nature. En plus de cela, il est nécessaire de surchauffer la vapeur, ce qui entraîne les inconvénients inhérents à la surchauffe (Voir plus loin).

Emploi de l'électricité. — En sucrerie, on est souvent amené, comme nous l'avons dit, à installer un grand nombre de moteurs indépendants et les canalisations de vapeur ont un grand développement, d'où pertes par refroidissement, par condensation, par fuites etc... En outre, cette industrie procédant par campagnes annuelles de 2 à 3 mois, il est nécessaire d'atteindre une grande intensité dans la production. Dans ces conditions, il y a de grandes difficultés d'entretien et le moindre imprévu entraîne une grave perturbation.

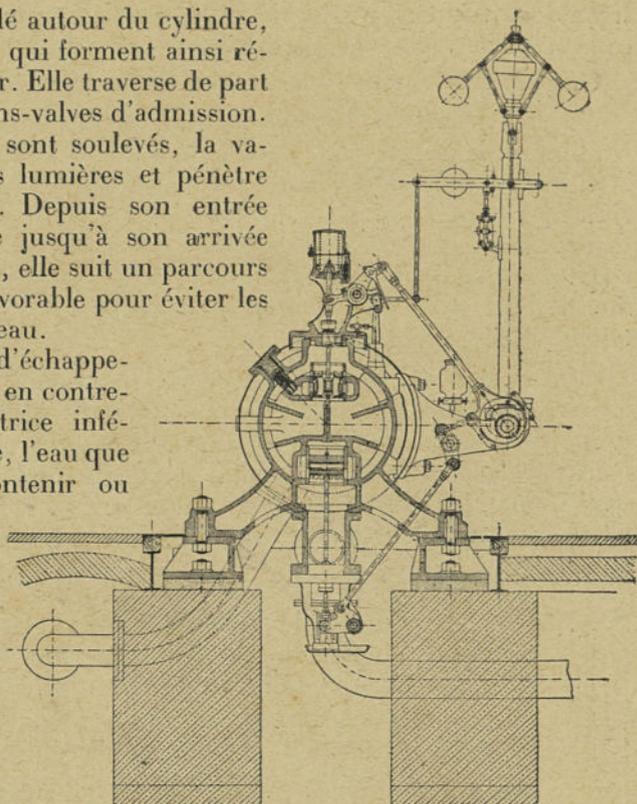


Fig. 278 bis. — Machine à pistons-valves.

Il y a donc avantage à supprimer les machines multiples et les longs collecteurs de vapeur et à employer les commandes électriques.

On peut employer le courant continu ou les courants triphasés.

Courants continus. — Un des plus grands avantages du courant continu est la facilité avec laquelle le matériel se prête au réglage de la vitesse ; en outre il donne des démarrages faciles et il peut être simultanément appliqué à l'éclairage. Le plus grand inconvénient de ces moteurs est le collecteur qui s'use rapidement, surtout quand il s'agit d'appareils devant fonctionner jour et nuit sans interruption durant deux, trois mois, comme en sucrerie. Ces moteurs sont à excitation série ou à excitation shunt.

Excitation série. — Ce moteur est supérieur comme démarrage à tous les moteurs connus ; il donne au démarrage un couple presque proportionnel au carré de l'intensité du courant. Le plus grand inconvénient de ce moteur est qu'il s'emballé quand, pour une cause quelconque, le couple résistant s'annule. On sait, en effet que la vitesse v d'un moteur à courant continu varie grosso-modo en raison inverse de son excitation $v = \frac{E}{H \times l}$. H intensité du champ magné-

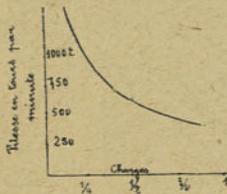


Fig. 279.

que l , longueur des spires. Le courant d'excitation étant celui qui parcourt l'enduit, quand le couple résistant devient très faible, l'excitation diminue beaucoup, et la vitesse croît, jusqu'à l'emballé pour un couple résistant nul, comme le montre la courbe de la figure 279.

Excitation shunt. — Le moteur excité en dérivation (*shunt*) alimenté sous tension constante a une vitesse pratiquement constante, malgré les variations de la charge ; il ne s'emballé pas et a un couple proportionnel au courant. Au démarrage, avec un rhéostat judicieusement calculé, le couple est supérieur au couple normal ; mais ce moteur exige un rhéostat de démarrage assez important, de plus, il n'est pas sans inconvénient de dépasser certaines limites pour le couple au démarrage. Le mieux serait donc d'employer un moteur à excitation Compound à enroulement série prédominant pour réduire au minimum le rhéostat de démarrage et l'appareillage subséquent.

Moteur à courants triphasés. — Ces moteurs sont plus simples, l'organe délicat, le collecteur est supprimé, et dans la plupart des cas l'organe mobile tout entier y est beaucoup plus robuste. A fortiori, lorsque le moteur est du type dit à cage d'écureuil.

L'alternomoteur asynchrone à cage d'écureuil est aujourd'hui fort employé. Le stator est un inducteur recevant les courants polyphasés ; il comprend une armature qui sert de support à la cage d'écureuil.

Celle-ci est constituée par une série de barres de cuivre disposées parallèlement aux génératrices d'un cylindre et noyées dans l'armature, formée de tôles circulaires perforées et réunies en un cylindre plein ; ces barres isolées dans la traversée de l'armature sont réunies en court-circuit à leurs extrémités au moyen de deux anneaux métalliques (fig. 280). La cage d'écuréuil supprime l'emploi de tout collecteur, bagues ou frotteurs reliés à un organe accessoire ; l'inducteur fixe est seul en communication avec le circuit d'alimentation.

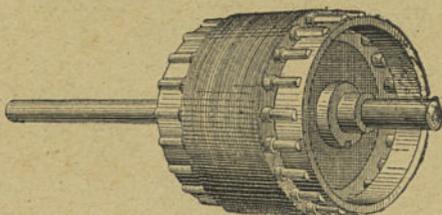


Fig. 280. — Cage d'écuréuil.

Mais ces moteurs présentent un inconvénient, c'est la difficulté du démarrage *en charge*. Le couple varie suivant le glissement et suivant la résistance du rotor. Pour avoir un grand couple au démarrage, il faut donner au rotor une grande résistance ; celle-ci combat la self induction et augmente le bras de levier du couple. D'autre part, pour avoir une faible variation de la vitesse avec la charge, il faut que le rotor ait une faible résistance ; d'ailleurs, cette condition est également nécessaire pour avoir peu de pertes en effet Joule ($R \cdot I^2$) et par suite un bon rendement.

Quand il s'agit de moteurs assez puissants, le démarrage ne peut être obtenu qu'à vide ; il faut donc munir le moteur d'un débrayage ou de tendeurs appropriés, ce qui est une complication.

Pour démarrer en charge, il faut vaincre, outre l'effort résistant propre au genre de travail de l'engin à conduire, la résistance due à l'inertie des masses et surmonter les résistances de frottement qui peuvent être plus grandes qu'en marche normale.

Le couple moteur C_1 développé dans le moteur au moment du démarrage devra donc être plus grand que le couple résistant C propre à l'engin à conduire et la différence ($C_1 - C$) déterminera l'accélération angulaire $\frac{d\omega}{dt}$ de l'appareil pendant la période du démarrage.

Si le moment d'inertie des masses à mettre en mouvement est K , on aura donc $C = C + K \frac{d\omega}{dt}$.

L'accélération angulaire et, par suite, la mise rapide en vitesse qu'on doit tendre en général à obtenir, dépend de la différence entre le couple moteur C_1 et le couple résistant C ; en pratique courante, le rapport $\frac{C_1}{C}$ doit être environ de 1,5 à 2,0. Les moteurs à courant continu répondent à cette condition, leur couple étant, d'une façon générale, proportionnel à l'intensité du courant absorbé ; mais avec

les moteurs triphasés, on n'y arrive qu'en augmentant la résistance du rotor. Celle-ci doit être maxima au démarrage, puis aller en

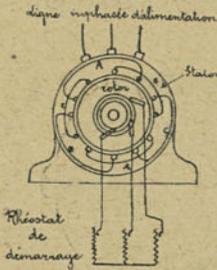


Fig. 281. — Alternomoteur avec résistance extérieure au rotor.

diminuant à mesure que l'induit prend une vitesse angulaire plus grande : la résistance des circuits fermés de l'induit doit varier en raison inverse de la vitesse. L'induit peut donc être constitué par des enroulements aboutissant à un système de bagues et de frotteurs ou balais reliés à des résistances variables à la main ou automatiquement (Fig. 281, 282 et 283).

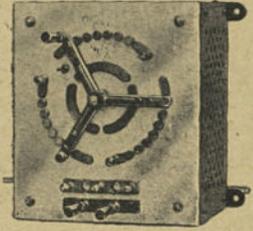


Fig. 282. — Appareil de démarrage métallique.

Boucherot a combiné des alternomoteurs donnant un fort couple au démarrage et ramenant ensuite le rotor dans les conditions de bon fonctionnement pendant la marche. Ils ont les propriétés de fonctionnement des moteurs à résistances variables dans l'induit, tout en conservant les avantages de construction et d'entretien des moteurs à cage d'écureuil.

Moteur type a. — Il se compose d'une partie fixe constituée par

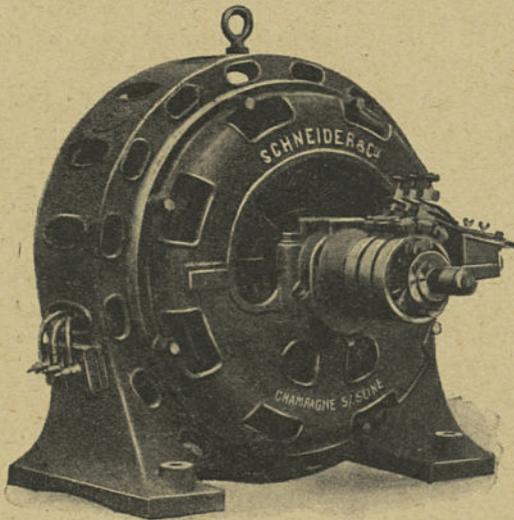


Fig. 283. — Alternomoteur triphasé avec dispositifs séparés de relevage des balais et de mise en court-circuit des bagues.

deux éléments inducteurs ou stators montés dans un bâti commun et d'une partie mobile comprenant deux armatures calées sur le même arbre et munies chacune d'une cage d'écureuil spéciale. Chaque inducteur est formé d'une série de tôles minces en fer extra-doux perforées et maintenues dans un caisson en fonte (fig. 284). L'un des stators est fixé dans le bâti commun ; l'autre, le *stator déplaçable*, peut être tourné d'un certain angle par rapport

au premier à l'intérieur du bâti bien alésé et pourvu d'un évidement dans lequel est engagé le levier servant à mouvoir le stator déplaçable (Fig. 287).

Le rotor est également formé de deux armatures en tôles minces perforées et solidement montées sur l'arbre commun ; chacune des armatures correspond à l'un des stators. Les barres de cuivre de la

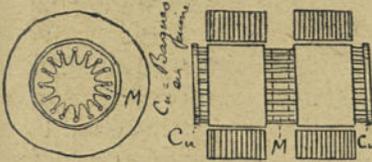


Fig. 284. — Alternomoteur triphasé asynchrone (Boucherot).

cage sont communes aux deux armatures et soudées par leurs extrémités à deux cercles en cuivre Cu ; l'intervalle laissé libre entre les 2 armatures est occupé par une frette en maillechort M de grande résistivité rivée et soudée sur les barres de la cage d'écureuil.

Au démarrage, que l'on obtient par la simple fermeture d'un interrupteur, le stator déplaçable étant décalé d'un espace

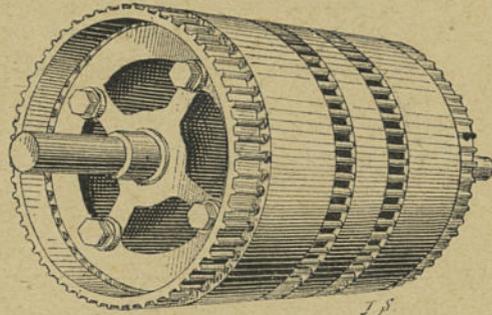


Fig. 285. — Rotor d'alternomoteur (Boucherot).

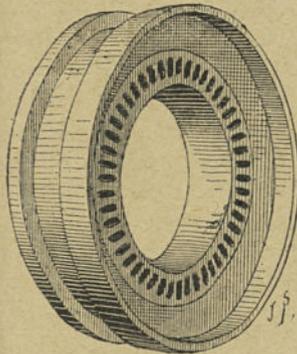


Fig. 286. — Inducteur ou stator fixe du moteur a (Bréguet).

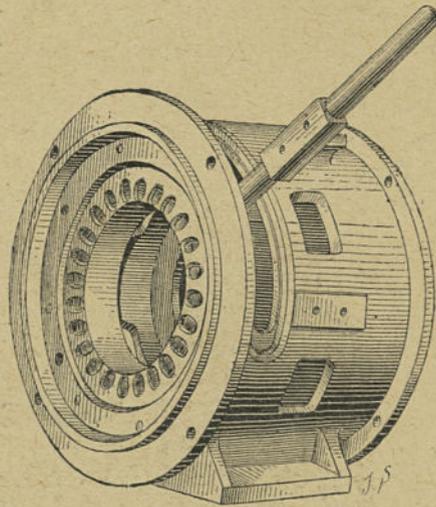


Fig. 287. — Bâti à évidence portant le stator déplaçable (Bréguet).

angulaire correspondant à une demi-période, c'est-à-dire de $\frac{1}{2p}$ tour (2 p. étant le nombre de pôles), les pôles magnétiques excités dans les 2 stators suivant les mêmes génératrices sont de signes contraires ; les courants induits dans les barres de la cage sont en opposition et se réunissent en quantité à travers la frette de maillechort. Le moteur démarre comme un moteur à résistances variables dans l'induit et le courant absorbé est proportionnel au couple développé. On réduit ensuite progressivement l'angle des deux systèmes de champs magnétiques jusqu'à ce que le stator déplaçable occupe la position

correspondante à la concordance des phases des forces électromotrices induites ; il ne passe plus alors aucun courant par la frette de maillechort ; les forces électromotrices induites dans les 2 portions d'une barre s'ajoutent et les courants induits passent par les bagues de cuivre dont la résistance est pratiquement nulle.

Les bobinages inducteurs étant divisés en deux parties, il en résulte

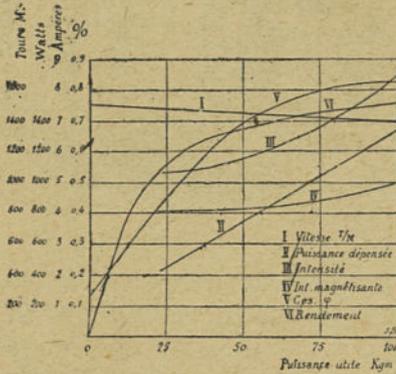


Fig. 288. — Courbes diverses,

une grande surface refroidissante et par suite un échauffement très faible. Les moteurs démarrant facilement en charge, il est inutile d'employer un débrayage ou un tendeur de courroie, comme l'exigent les moteurs à cage d'écureuil.

Les courbes (fig. 288) donnent, en fonction de la puissance utile sur l'arbre, les variations de la vitesse, de la puissance absorbée, de l'intensité par phase, du facteur de puissance ($\cos \phi$) et du

rendement entre la marche à vide et au delà de la puissance normale. Le rendement est élevé à partir du quart de la puissance normale, les valeurs de $\cos \phi$ sont également élevées grâce surtout à l'adoption d'entrefers très réduits qui diminuent les fuites magnétiques.

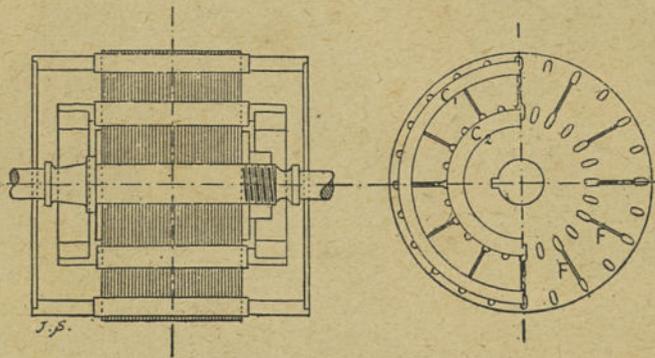


Fig. 289. — Alternomoteur asynchrone Boucherot pour commande des turbines (Bréguet).

Moteur Boucherot type γ . — Ce moteur n'a qu'un seul stator et un seul rotor. L'induit ou rotor comporte une armature unique munie de deux cages d'écureuil concentriques. La cage C1 dont les barres sont à la périphérie de l'induit, dans des trous percés tout près du bord des tôles, est composée d'éléments ayant une grande résistance R, et un faible coefficient de self-induction l_1 . Si la cage C1 agissait seule, les variations du couple moteur ainsi obtenu, en

fonction de la vitesse, seraient représentées par la courbe I (fig. 289). Cette courbe est analogue à celle qu'on obtiendrait avec un moteur ordinaire dans l'induit duquel on aurait introduit des résistances : le couple serait maximum au démarrage et diminuerait avec la vitesse : le glissement en charge serait grand et le rendement mauvais.

La seconde cage C₂ est composée, au contraire de la première, d'éléments ayant une faible résistance r_2 et un grand coefficient de self-induction L_2 les barres étant noyées dans une grande épaisseur de fer. Si cette cage existait seule, la courbe du couple en fonction de la vitesse rapportée au synchronisme serait analogue à la courbe II (fig. 289), le couple de démarrage serait très faible, mais le glissement en charge serait très petit et le rendement élevé. C'est le cas des moteurs ordinaires à cage d'écurieil.

Les actions des 2 cages se superposant, le couple résultant est la somme des couples dûs à chacune des cages ; les ordonnées de la courbe III (fig. 290) sont égales à la somme des ordonnées des courbes I et II.

Il suffit du passage d'un flux très faible à l'intérieur de la cage C₂ à faible résistance pour y développer des courants suffisants pour s'opposer au passage du flux principal dans cette partie ; ces courants étant décalés par suite du fort coefficient de self induction, la cage C₂ fonctionne comme un écran ; donc le flux traverse principalement le fer compris entre les 2 cages et la cage C₁ plus résistante, a une action prépondérante. Les courants ne peuvent y atteindre une valeur trop élevée, la résistance R_1 étant grande, et leur décalage est faible par suite de la faible valeur de L_1 . On peut donc obtenir un couple élevé avec une intensité modérée. Aux vitesses intermédiaires entre la marche à vide (*voisinage du synchronisme*) et la marche en charge, les 2 cages travaillent simultanément, le flux inducteur se partageant entre l'espace annulaire qui sépare les 2 cages et la partie interne de la cage C₂.

Le principal avantage de ce moteur est l'automatisme de son fonctionnement. En cas de surcharge exagérée, si le moteur vient à ralentir, la cage à grande résistance prend immédiatement une action prépondérante, et le moteur tend à surmonter la résistance accidentelle, sans que le courant puisse dépasser la valeur du démarrage. Si la surcharge disparaît, le moteur reprend le régime normal.

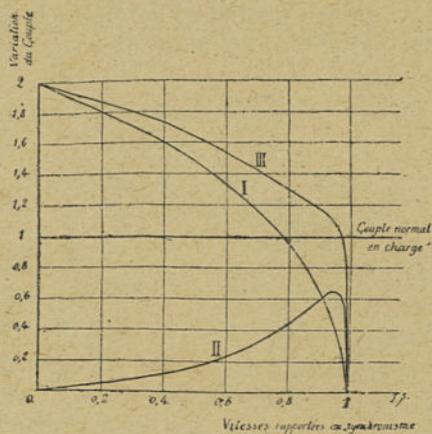


Fig. 290. — Variations du couple de l'alternomoteur Boucherot.

Dans ce moteur, l'un des enroulements ne subissant qu'en partie l'action du flux, les fuites magnétiques sont plus importantes et le facteur de puissance ($\cos \varphi$) est un peu plus faible que pour le moteur α .

Les tôles de l'induit de ce moteur portent deux séries de trous dans lesquels sont placées les barres des cages d'écureuil. Les fentes destinées à augmenter la reluctance de la portion annulaire comprise entre les deux cages sont pratiquées dans les tôles au moment du poinçonnage.

Comme exemple de commande électrique, nous allons étudier celle des turbines dont nous n'avons pas parlé ci-dessus afin d'éviter les redites.

Commande électrique des turbines (Elektrischer Antrieb ; Electric driving). — A l'époque où

l'on commença à employer les transmissions électriques, on construisait des turbines de 1 m. 30 à 1 m. 50 de diamètre et la commande se faisait par un électro-moteur directement calé sur l'arbre de la turbine. Depuis quelques années, on est revenu à de plus petits diamètres ; en France, pour les turbines à axe fixe, on préfère généralement les paniers de 1 mètre. La commande électrique directe n'a plus des avantages marqués, cependant elle est

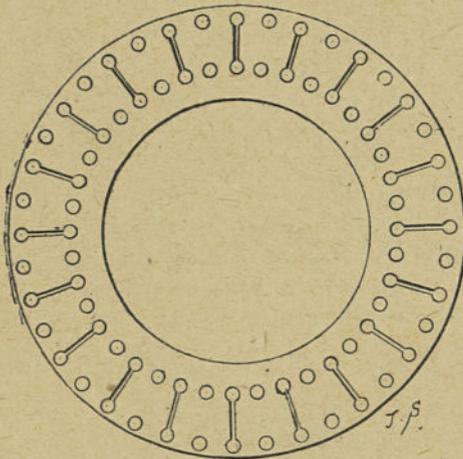


Fig. 291. — Tôles de l'alternomoteur Bouché rot employé pour les turbines (Bréguet).

restée très en faveur auprès des électriciens.

Quand l'électromoteur entraîne plusieurs turbines au moyen d'une transmission et de courroies, il peut être à courant continu avec excitation shunt ou à courants triphasés. Ces deux moteurs ont sensiblement les mêmes avantages dans ce cas.

Aucun emballement n'est à craindre du fait du moteur asynchrone, sa vitesse ne pouvant dépasser celle de la machine génératrice multipliée par le rapport du nombre de pôles entre cette génératrice et le moteur.

Ce moteur peut brûler, stopper, mais il ne peut dépasser comme moteur la vitesse du synchronisme. Sa vitesse en charge est légèrement inférieure à celle du synchronisme. Le choix sera uniquement guidé par la nature des courants dont on dispose. Comme on ne fait jamais démarrer qu'un petit nombre de turbines à la fois, ce démarrage se fait sans inconvénient, les turbines en pleine vitesse

entraînant celles que l'on démarre. Quand la commande est individuelle et directe, l'attaque peut se faire de 2 manières :

1° S'il s'agit d'une turbine à axe fixe, l'électromoteur est calé sur l'arbre même de la turbine ;

2° S'il s'agit d'une turbine à axe libre, l'électromoteur est calé sur l'arbre ou bien son arbre est en prolongement de celui de la turbine qu'il entraîne par friction.

Avec le calage direct, le moteur devra démarrer simultanément son induit, le panier et la charge, sa puissance et surtout son couple de démarrage devront être considérables. On emploiera le moteur à courant continu à excitation Compound.

Le moteur à excitation en série, qui est supérieur comme démarrage à tous les moteurs connus, ne peut malheureusement pas être employé sans artifices spéciaux pour la commande des turbines, à cause de l'emballement qu'il prend à très faible charge (voir figure 278), absolument inadmissible dans une turbine où la contrainte du métal est voisine des limites de sécurité.

Pour l'employer, il faut recourir à des dispositifs spéciaux empêchant l'emballement à vide. Le plus employé est un régulateur à force centrifuge qui fait varier la résistance d'un rhéostat shuntant l'inducteur de façon que le couple moteur, proportionnel au flux résultant, équilibre toujours le couple résistant. On peut avec ce moteur faire une turbinée en deux minutes, tandis qu'elle prend souvent 3-4 minutes, même avec des turbines de 750 mm. de diamètre. Mais ces dispositifs compliquent l'installation. On pourra aussi employer des moteurs à courants triphasés dont le démarrage sera facilité par rhéostats en série avec l'enroulement du rotor. (Voir figure 280.)

Les moteurs triphasés avec rotors spéciaux, pour pouvoir démarrer avec grand couple, sans bagues ni balais, doivent être rejetés en principe, car la perte d'énergie (effet Joule) pendant le démarrage, au minimum de 50 p. 100, se faisant, non dans des résistances extérieures, mais dans le rotor, chauffe ce dernier considérablement quand les démarrages sont fréquents.

Cependant, dans les installations très importantes, ces moteurs triphasés, à dispositifs de démarrage sans résistances extérieures pourront être très avantageux si l'on veut bien employer plusieurs lignes

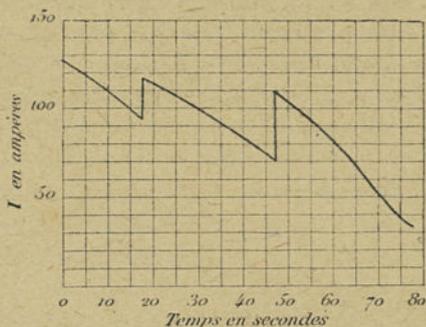


Fig. 292. — Intensité pendant le démarrage. Emploi des 3 fréquences (Bréguet).

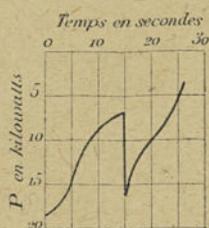


Fig. 293. — Freinage récupérateur. Emploi de 3 fréquences.

d'alimentation à des fréquences différentes, par exemple à 21-35 et 50 périodes par seconde. Dans ce cas, pour démarrer, le moteur est d'abord branché sous 21 périodes, puis 35 et enfin 50 (fig. 291).

La dissipation d'énergie pendant le démarrage est fortement diminuée.

Le passage d'une fréquence à l'autre s'opère automatiquement, grâce à un dispositif centrifuge actionné par la turbine elle-même.

On profite du réseau à 3 fréquences pour récupérer, par l'arrêt du moteur, une partie de l'énergie cinétique des masses. Dans ce but, lorsqu'une turbine doit être stoppée, on relie le moteur, alors au voisinage du synchronisme à 50 périodes par seconde, avec le réseau à 35 périodes, puis de même ensuite au réseau à 21 périodes (fig. 293).

Pendant ce freinage électrique, le moteur fonctionne en génératrice asynchrone et l'on récupère sur les réseaux à 21 et 35 périodes, environ 30 p. 100 de l'énergie cinétique. Le frein mécanique n'intervient que pour absorber l'énergie cinétique résiduelle et provoquer l'arrêt quand la vitesse est tombée à la moitié de la vitesse normale (500 tours).

Avec les turbines à axe fixe et à moteur asynchrone rigidement lié à l'axe de la turbine, le rendement moyen du moteur ne peut dépasser théoriquement 50 pour cent pendant le démarrage. Le moteur doit donc pouvoir sans inconvénient rayonner la grande quantité de chaleur dissipée durant ce démarrage ; on peut donc dire que pendant cette période, *toute la chaleur perdue traverse le moteur*.

Comme type de ce genre d'installation, nous allons décrire sommairement celui de la sucrerie de Cambrai à Escaudœuvres.

Le courant triphasé est produit sous 330 volts, 50 périodes par des alternateurs Compound.

L'inducteur est mobile et reçoit le courant d'excitation d'une excitatrice, dynamo à courant continu entraînée par courroie (100 volts), excitatrice spéciale grâce à laquelle la tension aux bornes reste constante, quelles que soient les variations de charge. Les 92 pôles inducteurs sont placés intérieurement au volant dont la jante reste libre. L'induit est monté sur un croisillon robuste qui maintient les tôles de l'armature.

Les courants à 21 et 35 périodes sont fournis par un alternateur unique spécial dont l'emplacement est figuré sur le plan général (fig. 296). Il est commandé par courroie par l'intermédiaire de l'alternateur volant dont la jante est ainsi utilisée. Il est du type homopolaire et peut fournir simultanément à la vitesse de 420 tours du courant sous 150 volts à 21 périodes et du courant sous 250 volts à 35 périodes, le tout avec un facteur de puissance ($\cos \varphi$) de 0,6. La machine comprend deux armatures induites fixes, portant respectivement les enroulements générateurs à 21 et 35 périodes. La fréquence étant déterminée par la vitesse angulaire et par le nombre de champs magné-

disque dans lequel sont placés 4 blocs de friction à tige coulissante, dirigés dans le sens radial. Quand le manchon tourne sous l'action du courant électrique, la force d'inertie centrifuge écarte ces blocs qui viennent faire friction sur le rebord d'une poulie que porte l'arbre de la turbine. Les sabots d'entraînement peuvent porter des plombs pour augmenter leur rapidité d'action.

Le chargement du panier commence aussitôt après le « lancer » du courant dans le moteur de la turbine. Malgré le système d'entraînement par friction, le démarrage se fait trop vite et le sucre s'accumulerait dans l'angle inférieur ; pour y remédier, on ralentit le démarrage en interrompant le courant une ou deux fois pendant le chargement ; la masse cuite a ainsi le temps de se répartir également sur toute la hauteur du panier, avant que l'arrosage lui ait enlevé sa fluidité.

Pendant le démarrage, le rendement électrique est faible ; il augmente à mesure qu'on approche de la vitesse de régime.

2° Cas. — L'électromoteur est fixé immédiatement au-dessous de l'appareil de suspension ; il est boulonné sur les sommiers et n'oscille pas. Dans ce cas la construction du moteur est indépendante de celle de la turbine, l'entrefer peut conserver les valeurs admises en pratique en vue de l'obtention du plus grand facteur de puissance possible (0 mm. 75 pour les moteurs asynchrones). La commande se fait par

interposition d'une friction et c'est cette dernière qui reçoit la chaleur dégagée par l'énergie perdue pendant le démarrage. Les électromoteurs peuvent alors être munis de rhéostats beaucoup moins puissants ou s'ils sont triphasés, être d'un type comportant des résistances sur le rotor. Cette disposition se prête particulièrement bien à la commande par moteurs triphasés, la friction n'entrant en jeu que lorsque la vitesse est voisine de la normale grâce à un appareil centrifuge. Le moteur démarre seul dès la fermeture de l'interrupteur et atteint les 0,8 à 0,9 de sa vitesse de régime en une seconde environ ; à partir de ce moment, l'accouplement centrifuge entre en jeu et entraîne progressivement le panier. Durant cette période, le moteur électrique fonctionnant presque à sa vitesse de régime, possède un rendement déjà élevé et l'énergie qui doit être inévitablement perdue pendant le démarrage est dissipée en plus grande partie dans la friction des sabots

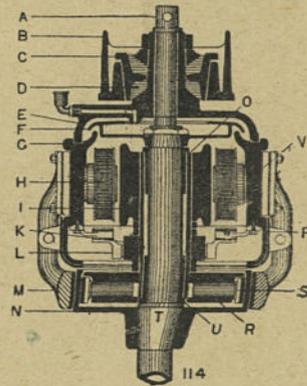


Fig. 296. — Électromoteur en dessous de la suspension.
A, Arbre plein ; B, Sommier supportant la turbine ; C, Bloc muni de tampons en caoutchouc D ; E, Couvercle la cage de l'électromoteur ; F, Godet à huile ; G, Cage de l'électromoteur ; H, Inducteur ; I, Induit ; K, Collecteurs ; L, Balais ; M, Frein ; N, Poulie ; O, Manchon ; P, Disque d'entraînement ; S, Bras de friction ; S, Arbre extérieur ; U, Bague antifric tion ; V, Aimants commandant le frein.

de l'accouplement. Grâce à cette solution, le dégagement de chaleur intéresse à un degré infiniment moindre le fonctionnement du moteur.

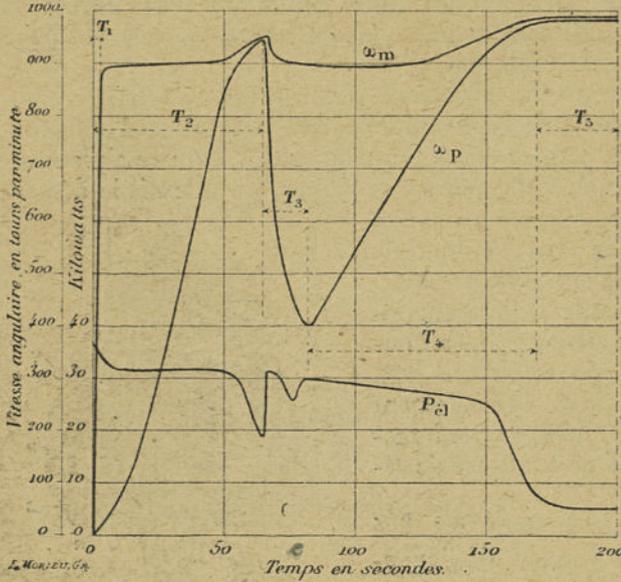


Fig. 297. — Démarrage d'une turbine. — Le panier est chargé après le démarrage.

ω_m , vitesse angulaire du moteur. — ω_p , vitesse angulaire du panier. — T1, démarrage du moteur seul. — T2, démarrage du panier à vide. — T3, période de ralentissement du panier pendant la charge. — T4, période d'accélération de la charge. — T5, turbinage proprement dit.

Chauffages latéraux ou combinés à effets multiples

Depuis longtemps déjà on utilisait, en France, pour chauffer le

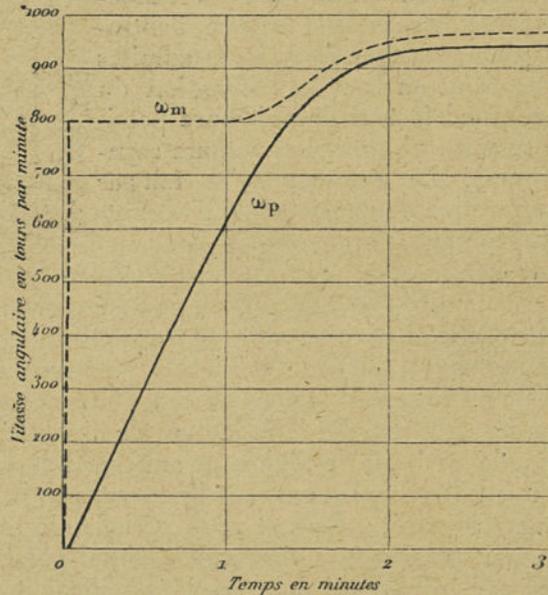


Fig. 298. — Démarrage d'une turbine. Le panier est chargé avant le démarrage.

ω_m , vitesse angulaire du moteur. — ω_p , vitesse angulaire du panier.

jus avant la première carbonatation, la vapeur qui s'échappe de la dernière caisse d'évaporation au condenseur (fig. 177 à gauche).

En Autriche, comme le mode d'impôt obligeait à travailler rapidement dans la batterie de diffusion et que ce travail précipité exige une température élevée dans les diffuseurs et un fort soutirage de jus, le jus allant de la diffusion à la carbonatation avait une température supérieure à 40° C. Comme la température de la vapeur

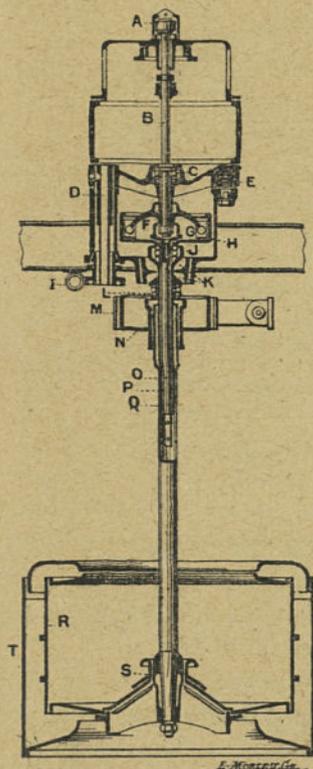


Fig. 299. — Coupe longitudinale d'une turbine Watson commandée par un électromoteur avec entraînement par friction (Bréguet).

A, Boîte à billes de l'électromoteur; B, Arbre de l'électromoteur; C, Guidage du bas de l'arbre; D, Axe autour duquel pivote la cage du moteur; E, Douille pour fixer la cage du moteur; F, Friction à force centrifuge; G, Sabots de friction; H, Cuvette de friction; I, Gaine recevant les fils; J, Boîte à billes; K, Rondelles en caoutchouc; M, Frein mécanique; N, Poulie du frein mécanique; O, Arbre plein fixe; P, Arbre creux fixe; Q, Arbre creux mobile; R, Panier; S, Cône; T, Enveloppe.

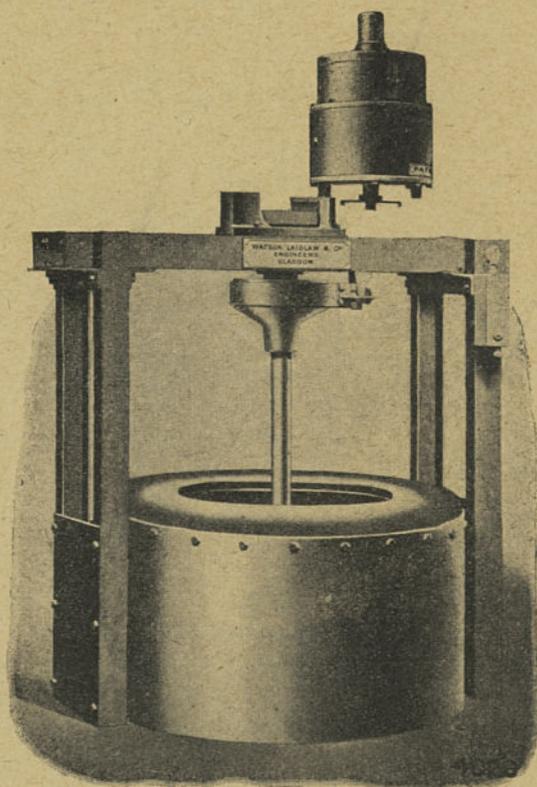


Fig. 300. — Turbine Weston à commande électrique.

s'échappant de la dernière caisse d'évaporation au condenseur possède environ 60° C on n'obtiendrait par son application dans les réchauffeurs ordinaires à petite circulation de jus qu'une élévation insignifiante de la température.

Léxa, ingénieur autrichien, s'inspirant d'une idée émise par Rillieux en 1881, se servit de la première caisse pour chauffer le jus allant de la diffusion à la première carbonatation et fit le chauffage dans la batterie de diffusion par la vapeur de la deuxième caisse, puis il conçut le plan de combiner tous les chauffages d'une sucrerie

avec l'appareil d'évaporation et d'utiliser les différentes caisses d'évaporation comme générateurs de vapeur de jus. Il travaillait à l'idéal de faire fonctionner les divers chauffages d'une sucrerie comme condenseurs de l'appareil d'évaporation de manière qu'aussi peu que possible de vapeur fût condensée par l'eau dans le condenseur même.

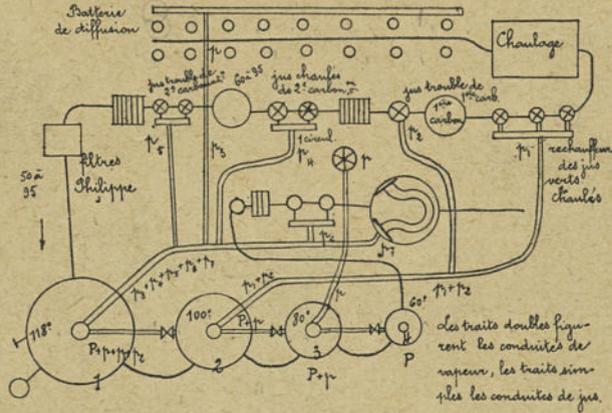


Fig. 301. — Schéma d'un quadruple-effet avec circulateur et chauffages latéraux.

C'est le système des chauffages combinés ou chauffages à effets multiples de Rillieux-Lexa. Ce système est aujourd'hui fréquemment appliqué.

Calcul sommaire des surfaces de chauffe d'un quadruple-effet avec chauffages combinés à effets multiples.

Nous prendrons le cas d'un quadruple-effet dont :

- a) : la 3^e caisse chauffe l'eau de diffusion p et la 4^e caisse.
- b) : la 2^e caisse chauffe le jus chaulé avant 1^{re} carbonatation (p₁) et le jus trouble de cette carbonatation avant son passage aux filtres presses (p₂) et la 3^e caisse P+p.
- c) : la 1^{re} caisse chauffe la diffusion (p₃) le jus chaulé avant 2^e carbonatation (p₄) le jus trouble de cette carbonatation avant son passage aux filtres-presses (p₅), le sirop avant filtration (p₆) et le haut de la cuite (p₇) ainsi que la 2^e caisse.

Si on appelle P le poids de vapeur extrait par heure de la 4^e caisse, le poids de vapeur extrait de la 3^e caisse est P+p, celui de la 2^e caisse est P+p+p₁+p₂ et celui extrait de la 1^{re} est

$$P + p + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7.$$

Or toute cette vapeur est de la vapeur de jus. Donc la somme E de toutes ces quantités d'eaux extraites aux différentes caisses représente l'eau abandonnée par les jus allant à l'évaporation pour devenir des sirops.

$$E = P + P + p + P + p + p_1 + p_2 + P + p + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p + p$$

Appelons r les poids de vapeur employés pour les chauffages combinés :

On a : $r = 3 p + 2 p_1 + 2 p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7$.

Nous avons $E = 4 P + r$.

d'où : $P = \frac{E-r}{4}$

Vapeur extraite de la 4^e caisse : $P = \frac{E-r}{4}$ perdue au condenseur.

— — 3^e — $P + p = \frac{E-r}{4} + p$.

— — 2^e — $\frac{E-r}{4} + p + p_1 + p_2$.

— — 1^{re} — $\frac{E-r}{4} + p + p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7$.

On fait maintenant les calculs des surfaces de chauffe à donner aux différentes caisses. En adoptant les coefficients $\alpha = 2.400$ $\beta = 1.800$ $\gamma = 1.200$ $\delta = 600$ calories, et les températures de vapeur avec lesquelles nous avons calculé précédemment un quadruple effet isolé à caisses égales, on aurait pour les surfaces de chauffe :

3^e caisse $s_3 = \frac{E-r}{4} (606,5 - 0,7 \times 96)$

4^e caisse $s_4 = \frac{E-r}{4} (606,5 - 0,7 \times 84)$

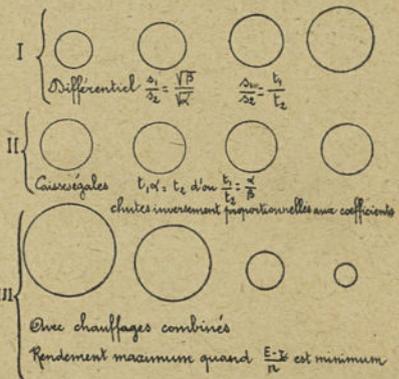


Fig. 302. — Schéma de quadruple-effet.

Et ainsi de suite pour les 2 premières caisses.

En parlant des multiples-effets isolés, nous avons vu que la théorie indiquait comme la meilleure répartition celle dans laquelle on a

$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{\alpha}}$ etc... ou $\frac{s_1}{s_2} = \frac{t_1}{t_2}$ etc...

ce qui justifie les multiple-effets différentiels dans lesquels les surfaces de chauffe vont en augmentant de la 1^{re} à la dernière (I) mais que l'on prenait souvent des caisses égales (II). Avec les chauffages latéraux l'appareil doit avoir une forme complètement différente. Nous avons vu que sur 1 hectolitre de jus il faut évaporer environ 82 kilogs d'eau. En calculant les poids de vapeur fournis par chaque corps on trouve à peu près les chiffres suivants : $7+9+24+42=82$ kilogs. Si on donnait donc aux surfaces de chauffe

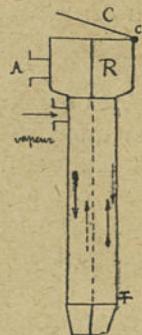


Fig. 303

une étendue proportionnelle à l'évaporation le dernier corps ne devrait avoir qu'une surface égale au 1/6^e de celle du 1^{er} corps.

Pour réduire le plus possible le poids de vapeur perdu au condenseur $\frac{E-r}{n}$, il faut multiplier le nombre des effets n et faire le plus possible de chauffages latéraux, c'est-à-dire augmenter r . Pour ces chauffages, il y a évidemment intérêt à prélever le plus possible de vapeur sur les derniers corps ; l'idéal serait de tout prendre sur le dernier corps, car alors on n'enverrait plus rien au condenseur ($r = E$, d'où $\frac{E-r}{n} = 0$). Mais comme les surfaces nécessaires pour les réchauffeurs augmentent à mesure que les chutes diminuent, on est obligé de faire les prélèvements de vapeur en majeure partie sur les premiers corps.

Le poids de vapeur qui se perd au condenseur est égal à celui qui est envoyé au 1^{er} corps pour suffire à l'évaporation restant à faire une fois les chauffages prélevés.

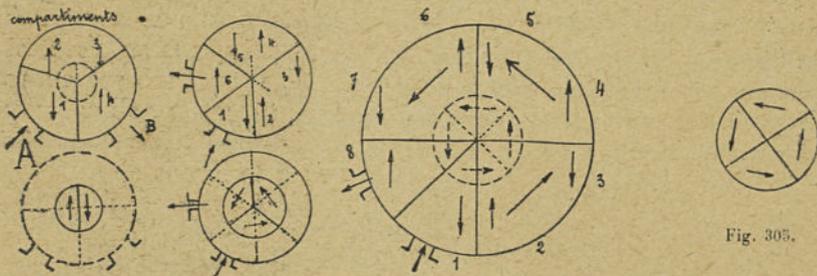


Fig. 304.

Fig. 305.

Dans le cas du quadruple-effet ci-dessus, le poids de vapeur perdu au condenseur est de 7 kilogs pour 82 kilogs d'eau évaporée.

Réchauffeurs (Salt Vorwärmer, Juice Reheater)

Les réchauffeurs employés pour les chauffages combinés sont généralement verticaux, cette forme se prête bien au dégagement des mousses et des gaz qui se cantonnent dans les tubes horizontaux. Ils sont composés d'un corps tubulaire portant à sa partie supérieure une rehausse R en fonte fermée par un couvercle C à charnière c. Des parois venues de fonte avec la rehausse forment 3 compartiments 1-2-3 étanches pour diriger le jus. A la partie inférieure se trouve un fond conique avec porte à charnière (Fig. 298).

Un diaphragme venu de fonte partage en 2 compartiments étanches la partie inférieure du réchauffeur. Le jus entre par la tubulure A descend dans les tubes (1), remonte dans le compartiment d'arrière (2), redescend à nouveau (3) et remonte enfin (4) dans le compartiment (3) où se trouve la tubulure B. On fait aussi des réchauffeurs

à 6 et même à 16 circulations ; ces derniers portent le nom de réchauffeurs cellulaires (Fig. 299, 300 et 301).

Les flèches verticales représentent la descente ou l'ascension du jus. La section du tube d'adduction du jus est égale à la somme des sections des tubes, en sorte que la vitesse de circulation ne change pas et que toute stagnation du jus est impossible.

Calcul des poids de vapeur condensés dans les réchauffeurs et des surfaces de chauffe à leur donner

Si on appelle π le poids de jus ou de sirop à réchauffer par heure, $c = \frac{dq}{dt}$ sa chaleur spécifique, t la température initiale, t' la température finale du liquide, t_v la température de la vapeur de chauffage, t_e la température de l'eau de condensation et p le poids de la vapeur nécessaire, on a, en écrivant que la chaleur absorbée par le liquide est égale à la chaleur cédée par la vapeur.

$$\pi c \times (t' - t) = p (606,5 + 0,305 t_v - t_e)$$

On peut généralement négliger la quantité de chaleur abandonnée par l'eau condensée et écrire $t_v = t_e$, ce qui revient à prendre pour la chaleur de condensation la formule de Clausius donnée plus haut et à écrire :

$$\pi c (t' - t) = p (606,5 - 0,7 t_v) \text{ d'où}$$

$$p = \frac{\pi c (t' - t)}{606,5 - 0,7 t_v}$$

Pour les jus on a grossomodo, $c = 1$, pour les sirops $c = 0,6$ (la chaleur spécifique du sucre = 0,5).

Pour connaître la surface de chauffe nécessaire, nous écrirons que la quantité de chaleur absorbée est égale à la quantité de chaleur transmise par la surface de chauffe. Il faut donc connaître le coefficient de transmission que nous appellerons ε et la chute de température. Cette chute étant variable, nous attribuerons au liquide une température moyenne $\frac{t + t'}{2}$, et nous aurons :

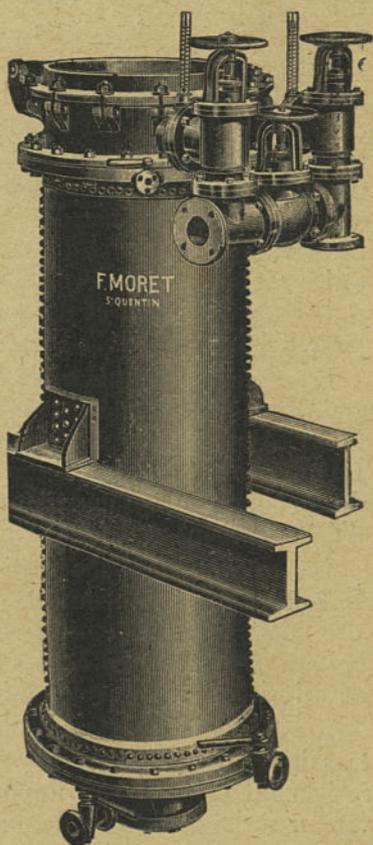


Fig. 306. — Réchauffeur avec ses valves et ses thermomètres.

$$\pi \times c (t' - t) = S \times \epsilon \left(t_v - \frac{t + t'}{2} \right)$$

$$S = \frac{\pi c (t' - t)}{\epsilon \left(t_v - \frac{t + t'}{2} \right)}$$

Pour les réchauffeurs de 2° carbonatation chauffés avec de la vapeur à 100-108°, on prend $\epsilon = 400$ calories par heure par mq et par degré.

Pour ceux de 1^{re} carbonatation chauffés avec de la vapeur ayant 90-100° on prend $\epsilon = 350$ et pour les sirops chauffés avec vapeur à 100-108°—300 calories.

Emploi de la vapeur directe

Il y a une trentaine d'années on évaporait avec des triple-effets qui méritaient souvent le nom de triste-effets tellement ils travaillaient mal.

Les eaux condensées, les gaz incondensables et l'ammoniac étaient mal enlevés. On marchait avec la plaque tubulaire supérieure surchargée de liquide, les tuyaux de communication étaient trop étroits (d'ou pertes de charge et par suite déchet dans la chute utile de température), on envoyait parfois au condenseur d'énormes quantités de vapeur par des tuyaux dits de circulation, etc., en sorte qu'il fallait beaucoup de vapeur et qu'un accord parfait régnait entre cet appareil et les moteurs. Ces derniers consommant 30 à 40 k. de vapeur par puissance de cheval et par heure, fournissaient en abondance la vapeur d'échappement à l'évaporateur.

En perfectionnant le triple-effet, en le transformant en quadruple ou quintuple-effet, on était exposé à avoir trop de vapeurs d'échappement. Alors survinrent les chauffages combinés qui rétablirent pour un moment l'équilibre. Enfin on perfectionna et on réduisit le nombre de moteurs comme nous l'avons dit ; dès lors on manqua de vapeur d'échappement et il fallut recourir à de la vapeur directe.

On se contenta d'abord d'introduire simplement cette vapeur dans le ballon des échappements. Cette vapeur à 6 atm. de pression se détendait jusqu'à la pression de 1/2 à 1 atm. qui régnait dans le ballon. On reprocha à ce système d'occasionner une grande perte de calorique ; voyons ce qu'il en est.

Il est certain que dans la détente adiabatique ou isentropique avec travail extérieur, il se produit une précipitation d'eau. Nous pouvons facilement calculer son importance en appelant x la proportion de vapeur sèche avant et x' la proportion après la détente et en écrivant que l'entropie du kilog de mélange $S = \int \frac{dQ}{T}$ ne varie pas pendant la détente (Q quantité de chaleur absorbée ou cédée, T température absolue).

Pour la vapeur d'eau on a $dQ = Cdt + rdx$, donc :

$$\int \frac{dQ}{T} = \int \frac{Cdt}{T} + \int \frac{rdx}{T} \text{ et } \frac{Cdt}{T} + \int \frac{rdx}{T} + \int \frac{Cdt}{T'} - \int \frac{r'dx}{T'} = 0.$$

$$\int_T^{T'} \frac{Cdt}{T} + \frac{rx}{T} - \frac{r'x'}{T'} = 0.$$

En intégrant le premier terme :

$$C \text{ Log } \frac{T}{T'} + \frac{rx}{T} - \frac{r'x'}{T'} = 0.$$

$C =$ assez exactement 1,0562. $\text{Log} = 2,3026$, log. vulg., donc :

$$2,432 (\log T - \log T') + \frac{rx}{T} - \frac{r'x'}{T'} = 0.$$

Pour la détente d'une vapeur à 7 atmosphères avec 5 pour cent d'eau jusqu'à 2 atmosphères, on a :

$$T = 438,3 \quad T' = 393,6 \quad \frac{r}{T} = 1,117 \quad \frac{r'}{T'} = 1,326$$

$$x' = \frac{1,117 \times 0,95 + 0,11362}{1,326} = 0,885 = 88,5 \text{ p. } 100, \quad 100 - x = 11,5 \%$$

Il y aurait après la détente 11,50 p. 100 d'eau au lieu de 5 p. 100. Mais le ballon est un réservoir clos à parois inextensibles et l'écoulement de la vapeur vers la caisse se fait toujours avec la même vitesse, puisque nous supposons qu'il ne se produit aucune augmentation de tension dans le ballon. Nous devons donc considérer la détente dans le ballon comme à la fois adiabatique (isentropique) et isodynamique. Or il y a une formule très simple donnant le travail que peut produire la détente adiabatique.

En appelant E l'équivalent mécanique de la chaleur, x et x' les proportions de vapeur réelle dans la vapeur humide, T le travail, on a :

$$\xi = E (q - q' + x\rho - x'\rho')$$

Si la détente est isodynamique, le travail est nul, donc $q - q' + x\rho - x'\rho' = 0$, d'où : $q + x\rho = q' + x'\rho'$ (la variation de la chaleur interne est nulle).

Avec 5 p. 100 d'eau avant la détente, on a $x = 100 - 5 = 95$, $q + 0,95\rho = q' + x'\rho'$ d'où : $x' = 0,9755$ $1 - x' = 0,0245$.

La proportion d'eau n'est plus que de 2,45 p. 100 après la détente ; il y a donc 2,55 p. 100 qui se sont évaporés.

On peut donc mettre la vapeur vierge directement dans le ballon, mais à la condition de ne pas laisser monter la pression au delà d'une certaine limite, témoin l'accident survenu il y a quelques années à la grande sucrerie d'Escaudœuvres : la pression étant montée de 500 gr. à 2 kilogs dans l'espace intertubulaire, la plaque tubulaire inférieure

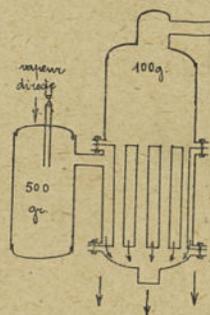


Fig. 307.

et la calotte se détachèrent et le liquide brûla mortellement plusieurs personnes (Fig. 307).

Mais il y a des moyens préférables pour employer la vapeur directe. On peut l'utiliser pour augmenter la vitesse de la vapeur d'échappement. On peut s'en servir pour faire marcher un injecteur qui aspire la vapeur d'échappement et la refoule dans l'espace intertubulaire de la caisse (voir plus loin compression). Rillieux l'introduisait dans cet espace au moyen d'un détendeur Legat ou d'une soupape ne permettant pas d'admettre assez de vapeur pour accroître au delà une certaine limite la tension dans le ballon, ce qui arrêterait les machines.

Soupape Rillieux et Dulac. — C'est l'appareil ordinaire de Dulac avec siège prolongé en capsule ou tulipe et chapeau de soupape muni d'un appendice conique ou cône divergent en acier mince nickelé

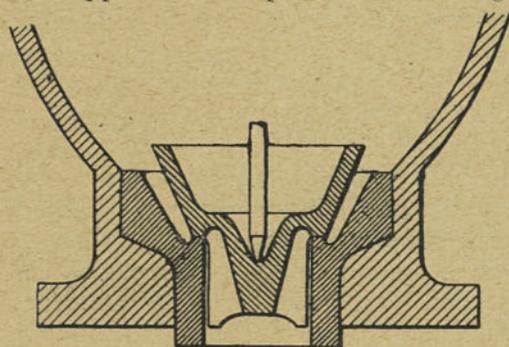


Fig. 308. — Soupape Dulac.

(Fig. 306). Ce chapeau ou clapet est buté contre un pointeau en deux pièces sur la tête duquel s'appuie un levier à contre-poids placé au-dessus du gros tuyau d'admission de la vapeur dans l'appareil. Entre les deux pièces du pointeau se trouve un piston en bronze à longue portée muni de rainures circu-

laires et glissant à frottement dans une enveloppe en bronze de même dimension. La vapeur arrive par en bas sous le clapet et se rend dans la grosse tubulure tant que la pression n'est pas suffisante.

Circulateur (Circulator). — L'ingénieur autrichien Lexa a tiré parti de la nécessité de l'emploi de la vapeur directe pour résoudre le problème de l'augmentation de la circulation du jus dans la 1^{re} caisse des appareils évaporatoires *horizontaux* où cette circulation laisse beaucoup à désirer. Il dispose des deux côtés de la caisse plusieurs (jusqu'à 8) petites caisses tubulaires ce 1 c'c 1 chauffées par de la vapeur directe et communiquant avec les couches inférieures et les couches supérieures de la caisse principale par d'énormes tubulures quadrangulaires. La vapeur directe pourrait produire des décompositions organiques dans le jus, mais ce fait ne se produit pas grâce à la circulation ascendante très rapide qui se produit dans ces petites caisses. (Fig. 304).

Quoique la circulation du jus soit bien meilleure dans les évaporateurs verticaux, on a également appliqué ces petites caisses à ces appareils (Fig. 305).

Le circulateur est un régulateur dans la marche du quadruple-effet.

La pratique montre, en effet, qu'on n'obtient les résultats prévus dans les appareils d'évaporation avec chauffages combinés que lorsque l'usine marche en plein pour le travail journalier considéré ; or, il est difficile qu'il en soit ainsi, et on adjoint un circulateur qui donne une certaine élasticité dans la marche des appareils d'évaporation.

Mais d'un autre côté il faut éviter pour le circulateur une vapeur à trop haute tension, ce qui produirait deux inconvénients : 1° Une caramélisation du sucre ; 2° Des entraînements dus à une ébullition trop vive.

On compte pratiquement que 1 mq de surface de chauffe de circulateur équivaut à 2 mq de surface de 1^{re} caisse, car la température de la vapeur est plus élevée et la circulation plus active.

Si, pour la 1^{re} caisse il faut 500 mq, on prendra un circulateur de 65 mq par exemple et la caisse elle-même ne devra plus avoir que $500 - 130 = 370$ mq.

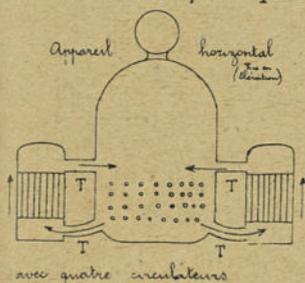


Fig. 309. — Caisse horizontale avec circulateurs.

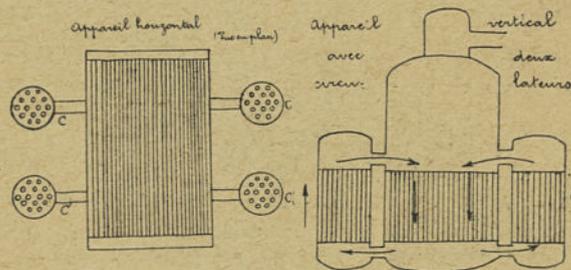


Fig. 310. — Caisse verticale avec c.

L'efficacité de cet appareil comme circulateur est très douteuse, parce que la circulation qu'il tend à produire dans la caisse de l'évaporateur est de sens opposé à celle qui se produit spontanément dans l'appareil. Si, malgré cela, ce satellite présente des avantages, c'est parce qu'il permet de mieux utiliser la haute température de la vapeur directe qu'en la mélangeant simplement à la vapeur d'échappement. Dans le circulateur la chute de température est donc un multiple de celle du premier corps auquel il est relié et sa puissance d'évaporation par unité de surface est également plus grande.

Bouilleur de jus ou préévaporateur ou Caisse Pauly (Salt Vorkocher, Fore evaporator). — Pour les sucreries où la vapeur d'échappement des machines, par suite de vieux générateurs, ne pouvait pas avoir une pression au-dessus de la pression atmosphérique, l'Autrichien Lexa adopta, en 1882, une disposition dans laquelle la première caisse d'évaporation était exclusivement chauffée par de la vapeur directe et la vapeur de jus produite était appliquée au chauffage de la 2^e caisse et de différentes stations.

La vapeur de retour des machines chauffait la seconde et la 3^e

caisse d'évaporation. Ce genre d'installation, repris en 1889 en Allemagne par le Docteur Pauly, est fréquemment employé dans ce pays (Fig. 306).

Dans ce système, dit système Pauly ou Greiner-Pauly, la première caisse B porte le nom de *Bouilleur de jus* ou *préévaporateur*. Cette première caisse reçoit du réservoir R tous les jus faibles destinés au triple-effet et est chauffée par de la vapeur vierge à haute pression ou détendue par un détendeur spécial. Le tuyau d'évacuation de la

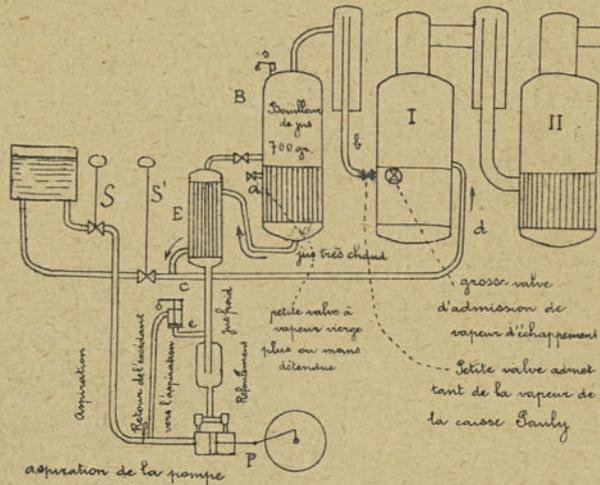


Fig. 311. — Schéma d'un multiple-effet avec caisse Pauly et échangeur de température.

vapeur de jus et le tuyau d'admission de vapeur directe a sont de petit diamètre et une soupape de sûreté s est placée sur la caisse B. On maintient dans cette caisse une légère pression de 700 grammes de façon à avoir de la vapeur à 115° C.

Le jus très chaud sortant du bouilleur B traverse les espaces extratubulaires de l'échangeur E et se rend par cd dans la chaudière I du triple-effet après avoir cédé une partie de sa chaleur au jus froid refoulé par P dans le bouilleur à travers les tubes de l'échangeur. Si la pompe P va trop vite l'excédent retourne par ef à l'aspiration. Une soupape S' permet d'envoyer du jus directement dans la caisse I.

Les Allemands combinent généralement la caisse Pauly avec un triple-effet ; les vapeurs du Pauly servent à compléter la vapeur d'échappement pour le chauffage de la 1^{re} caisse du triple-effet et on ne fait les chauffages combinés qu'avec la caisse Pauly et la 1^{re} caisse.

Ce système a l'avantage de donner des vapeurs à une température assez élevée qui permet de faire des chauffages sans donner aux appareils des surfaces de chauffe excessives. La vapeur d'échappe-

ment n'ayant plus qu'à effectuer l'évaporation restante, peut suffire à ce travail sans avoir une température très élevée, ce qui permet de diminuer la contre-pression derrière les pistons des machines. Mais il est évident que ce système est moins économique que celui du quadruple-effet combiné avec les chauffages. En outre on prétend que l'emploi de la vapeur directe dans la caisse Pauly produit toujours une caramélisation du sucre ; mais ceci n'a pas lieu dans un travail bien conduit.

Le bouilleur de jus et le circulateur doivent être, avant chaque campagne, soumis à une épreuve hydraulique, comme nous l'avons dit pour le multiple-effet, pour s'assurer de l'étanchéité des tubes et des mandrinages.

Il est facile de voir que le tuyau amenant la vapeur de la caisse Pauly dans le 1^{er} corps peut être de petit diamètre. En reprenant la formule de Poncelet et Pecllet avec un écoulement de 1 k. 70 de vapeur par seconde, une densité de vapeur de 0,72 et un diamètre de 100 mm. on trouve comme perte de charge :

$$p' - p = \frac{(1 + 0,83 + \frac{0,024 \times 5}{0,6} + 1) \times 1,7^2}{2 \times 9,81 \times 0,08 \times 0,72} = 5k 8$$

Radiateur Witkowicz. — A la place du faisceau tubulaire vertical on emploie parfois pour le bouilleur de jus, et pour les chauffages de jus en général, le faisceau Witkowicz. Il se compose d'une caisse horizontale quadrangulaire en tôle (représentée ici par un fort trait noir), fermée à chaque extrémité par un fond embouti en tôle, dont l'un porte le tuyau d'arrivée de vapeur. Cette caisse est percée de trous qui reçoivent des tubes que lèche la vapeur et dans lesquels le liquide circule rapidement.

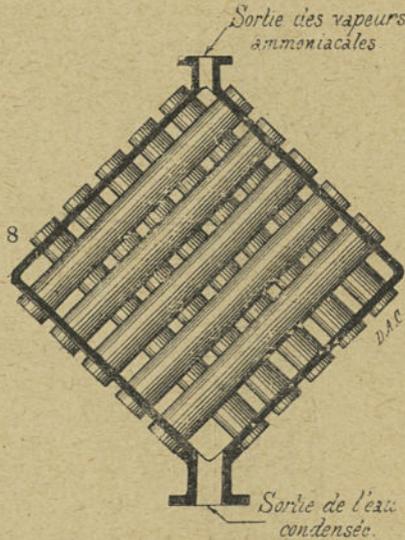


Fig. 312. — Radiateur Witkowicz.

Régulateur de pression Schneider et Helmecke. — La première caisse du multiple-effet ou le Pauly ayant généralement à effectuer de nombreux chauffages, on y maintient une légère pression et on la munit d'une soupape de sûreté réglée. Malgré cela il y aurait des variations continuelles de pression et l'ouvrier ayant toujours, pour sa tranquillité, une tendance à ne pas ouvrir trop fort la soupape de vapeur directe, il en résulterait une grande diminution dans la capacité productive de l'appareil d'évaporation. Le régulateur

Schneider et Helmecke a pour but de maintenir constante la tension dans la calandre du 1^{er} corps en réglant automatiquement l'arrivée de vapeur directe dans le circulateur.

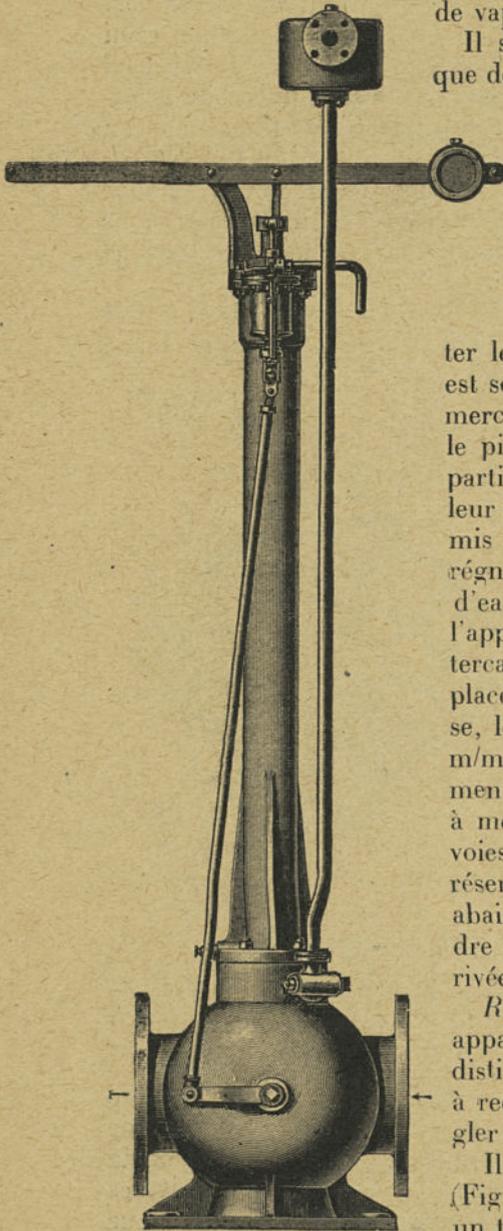


Fig. 313. — Régulateur à action indirecte.

Il se compose d'un réservoir cylindrique de petit diamètre et de hauteur moitié de celle d'une caisse dans lequel se meut un piston creux à sa partie inférieure et relié à un levier double muni d'un contre-poids à régler suivant la pression que l'on désire voir exister dans la calandre de la caisse du multiple-effet ou de la caisse Pauly. Pour éviter

les frottements, l'intérieur du piston est séparé de l'atmosphère par 10 kgs de mercure. L'espace intérieur ménagé sous le piston est relié par un tuyau avec la partie supérieure de la calandre du bouilleur de jus, en sorte que le piston est soumis à toutes les fluctuations de pression régnant dans cette caisse. On remplit d'eau le tuyau et le piston creux. Entre l'appareil à évaporer et ce tuyau on intercale un petit réservoir compensateur placé aussi haut que possible sur la caisse, lequel maintient aux environs de 230 m/m la pression hydrostatique qui augmente par la montée du piston. Le piston à mercure agit sur un petit robinet à 3 voies R (fig. 308) amenant l'eau d'un réservoir en charge pour soulever ou abaisser le piston p glissant dans le cylindre c, qui ouvre ou ferme la valve d'arrivée de vapeur.

Régulateur de pression Savalle. — Cet appareil, employé depuis 1860 dans les distilleries pour les colonnes à distiller et à rectifier, peut très bien servir pour régler la pression dans la caisse Pauly.

Il se compose de deux vasques A et B (Fig. 311). La vasque supérieure B porte un tube B qui traverse le couvercle de la vasque inférieure et plonge dans cette vasque. Une boîte à calfat H forme le joint entre le couvercle et la vasque A et le tube B. Dans la vasque supérieure se trouve un

flotteur creux C agissant par une tige qui le traverse, sur l'extrémité du bras de levier D, lequel fait fonctionner la soupape E qui règle l'introduction de la vapeur dans l'appareil.

La vasque inférieure A étant pleine d'eau jusqu'au niveau de la tubulure F reliée à l'appareil dans lequel on veut régler la pression, si on ouvre la communication entre A et l'appareil, la pression refoule une partie du liquide de A en B et fait fonctionner le flotteur C, le levier D et la valve E.

La distance entre le niveau de l'eau dans la vasque inférieure et dans la vasque supérieure représente la pression qui règne dans l'appareil. Si, avec le même régulateur, on veut travailler avec une pression de régime plus forte ou plus faible dans la chaudière, il faudra élever ou abaisser la vasque supérieure du régulateur, ce qui, avec le régulateur que nous avons décrit, ne peut pas commodément se faire pendant la marche. Pour pouvoir modifier immédiatement le régime de la pression, on a construit des régulateurs à régime variable.

Il est facile de voir qu'au lieu d'élever ou d'abaisser la bêche supérieure, on peut mettre la bêche inférieure en communication avec la bêche supérieure par un tuyau placé plus ou moins bas.

C'est ce que Barbet a réalisé par l'adjonction de deux robinets A (fig. 312). Lorsque les deux robinets A sont fermés, l'appareil fonctionne avec une pression de régime H. En ouvrant le premier robinet, la pression devient $H+h$. En ouvrant le second robinet, elle devient $H+h+h^1$.

La pression absolue de la vapeur de chauffage dans la caisse Pauly peut atteindre 1 kilo effectif c'est-à-dire que la température peut être de 115 à 120° C. sans qu'il y ait danger de destruction de sucre et sans que le jus se colore, à la condition toutefois que celui-ci soit suffisamment alcalin. Avec des vapeurs à tension si élevée, on peut réduire beaucoup les surfaces de chauffe des réchauffeurs et prendre des conduites de plus petit diamètre. Le plus souvent on n'installe qu'un bouilleur, mais dans plusieurs fabriques on en rencontre 2 ou 3 dont le premier est chauffé par de la vapeur directe, tandis que les autres reçoivent les vapeurs de jus des caisses précédentes. Cette disposition est surtout recommandable quand, par suite de la centralisation des moteurs, on n'a que peu de vapeur d'échappement. La vapeur vierge peut alors être utilisée plusieurs fois avant que

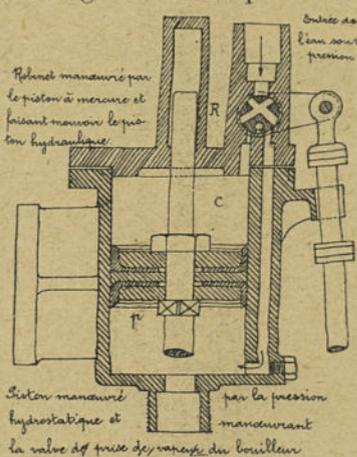


Fig. 311. — Piston hydraulique.

les vapeurs résultantes soient employées seules ou en concurrence avec des vapeurs d'échappement, pour les réchauffages et l'évaporation.

Quand il n'y a qu'un bouilleur, il n'est pas avantageux d'y envoyer tout le jus faible, parce qu'il faut alors inutilement porter tout ce jus à la température élevée d'ébullition dans ce corps. Ce jus en passant ensuite dans la première caisse du multiple-effet, rend sous forme de vapeur la chaleur qu'il a emmagasinée en excès ; il en résulte que la condensation de la vapeur d'échappement est diminuée d'autant, et qu'on a employé en plus dans la caisse Pauly une quantité correspondante de vapeur vierge. Il est recommandable de n'envoyer au

bouilleur que la quantité de jus nécessaire pour que sa concentration ne dépasse pas 8 à 11° Baumé (15 à 20° Brix) et d'envoyer le reste directement dans la première caisse du multiple-effet où il se mélange au jus venant du bouilleur.

Si l'on a plusieurs bouilleurs, il faut pour renouveler rapidement le jus, (ce qui est indispensable par suite des températures élevées), envoyer tout le jus dans le premier bouilleur et de là dans les autres. Pour économiser de la vapeur, on fait passer le jus froid par un échangeur de température ou mieux dans un réchauffeur chauffé par le premier bouilleur.

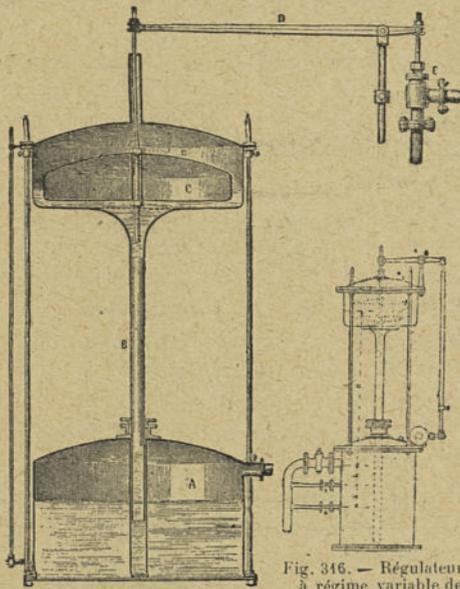


Fig. 345. — Régulateur Savalle.

Fig. 346. — Régulateur à régime variable de E. Barbet.

Il peut arriver à la première caisse du multiple-effet que, par suite d'un arrêt momentané dans l'arrivée du jus, toute la vapeur d'échappement ne puisse pas être condensée, tandis que pendant le même temps le bouilleur ait besoin de beaucoup de vapeur, en sorte que l'on prend beaucoup de vapeur aux générateurs pendant qu'une grande quantité de vapeur d'échappement est perdue au-dessus des toits. Pour éviter cela, Claassen conseille de réunir la tuyauterie des échappements à celle de dégagement des vapeurs de la dernière caisse Pauly par une valve qu'on laisse généralement ouverte pendant le travail. On a alors pour les échappements et la vapeur de jus une tuyauterie commune d'où partent tous les tuyaux secondaires allant aux réchauffeurs et aux appareils à cuire. Dans la dernière caisse Pauly règne alors la pression de la vapeur d'échappement et pour régler l'admission de vapeur directe, il n'y a qu'à faire en sorte que

cette pression soit toujours maintenue au chiffre que l'on désire. Dans ce cas, la vapeur est utilisée de la façon la plus sûre et la meilleure et le travail est considérablement simplifié. Il n'arrive plus alors que le jus mousse fortement dans le bouilleur, parce que la production et le prélèvement de vapeur sont beaucoup plus réguliers ; par suite, il ne se produit pas de chutes brusques de pression qui donnent lieu à la formation de mousses abondantes. Quand on a ainsi intercalé les bouilleurs dans la production générale de la vapeur, les régulateurs d'entrée de vapeur directe actionnés par la pression dans la coupole de l'appareil d'évaporation, peuvent encore rendre de bons services, mais ils ne sont pas indispensables, car il ne se produit pas de forts et brusques changements de pression et l'ouvrier n'a à surveiller que le manomètre de la pression de la vapeur d'échappement.

Appareil mixte à caisses ordinaires et combinées avec une ou plusieurs caisses Kestner. — Pour augmenter la capacité productive (puissance d'évaporation) ou le rendement d'évaporation d'un appareil ordinaire à caisses horizontales (Rillieux), ou à caisses verticales (Robert), on peut lui ajouter une ou plusieurs caisses Kestner à grimpage.

A. Augmentation de la capacité productive ou puissance d'évaporation. — La caisse A est, par exemple, le 1^{er} corps d'un quadruple-effet ; elle a 150 mq. et est insuffisante pour fournir la vapeur nécessaire aux chauffages ; en outre, la circulation laisse à désirer tant dans la chambre de liquide que dans la chambre de vapeur ; il y a dans celle-ci des espaces morts où s'accumulent des gaz incondensables ; enfin, il y a des entraînements qui nécessiteraient l'adjonction d'un séparateur. Il faudrait doubler la surface de chauffe de la caisse pour doubler sa puissance évaporatoire en la remplaçant par une caisse double ou en ajoutant une autre de 150 mq. si elle ne travaille pas mieux que la première. Au lieu de cela, on place à côté de ce premier effet une caisse Kestner E de 100 mq. coûtant à peu près la moitié et moins encombrante et montée à la façon d'un circulateur en ce qui concerne du moins la circulation de jus. Cette caisse reçoit le jus par le tuyau *t* dont le débit est réglé par le robinet R. La vapeur, prise sur le tambour tubulaire de la caisse Robert, arrive par la tubulure *t*² opposée à celle (V) de la caisse A. La purge d'eau condensée d'air et de gaz incondensables se fait en p. La sortie du mélange de vapeur et de jus concentré par C tangentiellement à la chambre de vapeur de la caisse transformée. La tubulure V (en bas), ne sert ici qu'à la vidange. La caisse additionnelle produisant une quantité de vapeur égale à celle de la caisse préexistante, il devra s'y condenser une égale quantité de vapeur, donc la calandre de la caisse A recevra le double du volume de vapeur qu'elle recevait primitivement, la moitié environ ne faisant que la traverser pour passer par *t*² dans la chambre de

chauffe de la caisse Kestner ; dans ces conditions, il n'y a plus d'espace mort ni de poche à gaz, car la vapeur en traversant le tambour tubulaire de la caisse Robert conserve une vitesse suffisante pour entraîner avec elle les gaz incondensables ; par suite, la surface de chauffe de la caisse A est elle-même plus active, ce qui augmente la puissance de l'ensemble (fig. 317).

Au lieu de faire simplement communiquer la caisse E par le bas avec la caisse A par t, il est préférable de faire l'alimentation par le bas de la caisse E (fig. 318) par le robinet ; le tuyau t ne sert plus alors que de tuyau de sûreté dans le cas d'arrêt momentané de l'alimentation et on a une circulation à contre-courant, entre le liquide et la vapeur, celle-ci passant d'abord dans la caisse A puis dans la caisse E par t² comme le montre la flèche.

Si l'on ajoute une caisse Kestner à chacune des caisses d'un appareil Robert, la disposition est la même. Le liquide arrivant en b (fig. 319) passe de la partie supérieure des caisses bc par des tuyaux t³ et des valves automatiques r.

La figure 321 montre l'application d'un préévaporateur Kestner à un triple-effet. Cette caisse Kestner est chauffée par de la vapeur directe détendue à 2 k. et donne de la vapeur à 120° ; elle chauffe un réchauffeur de 40 m² dans lequel passe le liquide avant d'entrer dans le préévaporateur. Une pompe à piston refoule le jus dans le réchauffeur ; sur la conduite de refoulement se trouve intercalée une soupape de sûreté qui laisse retourner à l'aspiration le liquide en excès. Sur la même conduite est le régulateur d'entrée du jus qui pénètre dans le Kestner par la partie inférieure. Le jus sort par la chambre des vapeurs et par un régulateur de sortie et va dans la première caisse de l'appareil d'évaporation à triple-effet. Quant aux vapeurs, elles passent d'abord par un ralentisseur tube de sûreté, puis vont soit à un réchauffeur quelconque de jus, soit à un réchauffeur du jus entrant dans le Kestner, soit enfin dans le corps tubulaire de la première caisse. Il y a un ralentisseur entre chaque caisse.

B. Augmentation du rendement. — Pour augmenter le rendement

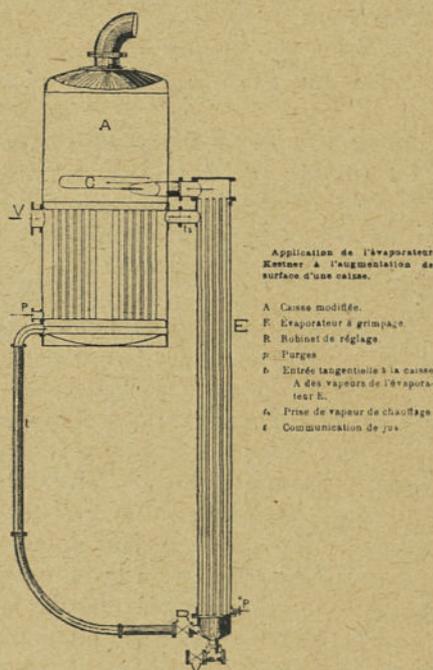


Fig. 317. — Caisse Kestner servant à augmenter la surface d'une caisse.

d'un quadruple-effet bien construit, il faut le transformer en quintuple-effet, par addition d'une caisse *en série*, mais on obtient ainsi un appareil plus encombrant et comme chaque caisse fonctionne avec une chute de température plus faible, son travail est moindre et l'économie de combustible est en grande partie perdue par la nécessité d'amortir cette transformation. On peut résoudre le problème en prenant comme premier corps une caisse Kestner ; celle-ci pouvant fonctionner avec une chute de température très faible, 3-4-5°, les autres caisses conservent sensiblement les mêmes chutes qu'avant la transformation ; en outre, les premiers effets donnant ainsi une grande quantité de vapeur, on peut chauffer tous les postes de l'usine avec de la vapeur de jus. La caisse Kestner K reçoit le liquide par V₁ et la vapeur par V₂. Après passage au séparant S la vapeur de jus chauffé la caisse A, tandis que le liquide passe par la valve automatique r pour alimenter la caisse A. Grâce à la circulation intensive, cette caisse Kestner peut être chauffée aussi par de la vapeur vive sans donner d'altération du sucre. Le prélèvement de vapeur par les chauffages latéraux par cette caisse se fait en O. (Fig. 320).

La figure 322 représente un triple-effet ordinaire marchant dans le vide et alimenté partiellement par de la vapeur d'échappement. Le supplément de vapeur vive provient d'un triple-effet marchant sous pression et dont la première caisse est un préévaporateur Kestner, chauffé par de la vapeur à 135° C et produisant des vapeurs de jus à 128° également, cela fait une chute de 135—128= 7° C suffisante pour produire une grande quantité de vapeur. Le jus

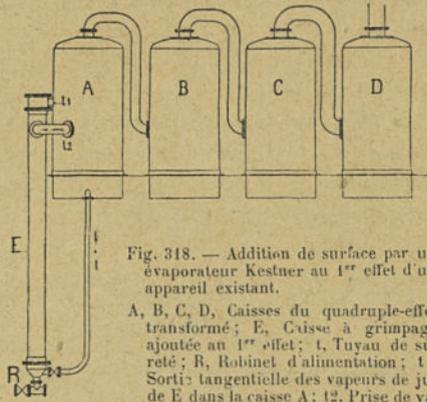


Fig. 318. — Addition de surface par un évaporateur Kestner au 1^{er} effet d'un appareil existant.

A, B, C, D, Caisses du quadruple-effet transformé; E, Caisse à grimpage ajoutée au 1^{er} effet; t, Tuyau de sûreté; R, Robinet d'alimentation; t₁, Sortis tangentielle des vapeurs de jus de E dans la caisse A; t₂, Prise de vapeur de chauffage de E.

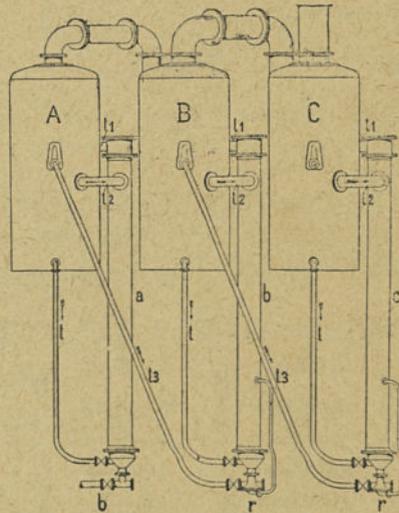


Fig. 319. — Addition de surface par trois évaporateurs Kestner ajoutés à chaque caisse d'un appareil existant à triple effet.

A, B, C, Caisses du triple-effet; a, b, c, Caisses à grimpage ajoutées à chacun des corps de l'évaporateur; t₃, t₃, t₃, Tuyaux de communication de jus d'effet à effet; t, t, t, Tuyaux de sûreté en cas de manque d'alimentation ou de vapeur; r, r, Valves automatiques réglant l'alimentation suivant l'évaporation; t₁, t₁, t₁, Sorties tangentielle à chacune des caisses A, B, C; t₂, t₂, t₂, Entrées de vapeur de chauffage prélevées sur les calandres des effets A, B, C.

entrant dans le Kestner passe par un réchauffeur chauffé par les vapeurs du Kestner même.

La figure 323 représente un quadruple-effet avec caisse Pauly et préévaporateur Kestner. La vapeur du Kestner chauffe le Pauly, il en résulte un préévaporateur à double-effet. Le Kestner ne reçoit pas tout le jus mais les 3/4 ; le reste va au Pauly.

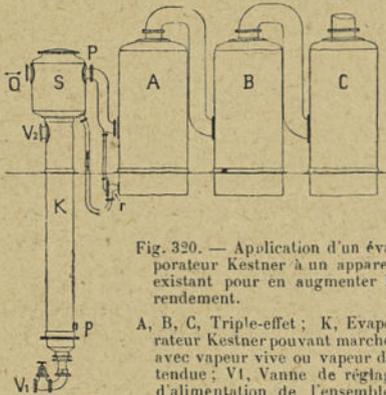


Fig. 320. — Application d'un évaporateur Kestner à un appareil existant pour en augmenter le rendement.

A, B, C, Triple-effet ; K, Evaporateur Kestner pouvant marcher avec vapeur vive ou vapeur détendue ; V1, Vanne de réglage d'alimentation de l'ensemble ;

O, Prélèvement de vapeur pour les chauffages dans l'usine ; S, Séparateur ; V2, Arrivée de vapeur de chauffage de l'appareil ; p, Purge de l'eau condensée et des gaz ; r, Valve réglant l'alimentation de A suivant l'évaporation.

Une pompe prend le jus filtré après 2 carbonatations et le refoule dans un régulateur d'entrée de jus ; l'excès retourne au bac d'alimentation. En sortant du régulateur t il passe dans un réchauffeur chauffé par les vapeurs qui sortent du Kestner. Le jus subit l'évaporation dans le Kestner chauffé par de la vapeur à 2 k. 25, puis sort par un régulateur et entre dans le Pauly. Le jus

qui entre dans le Pauly passe d'abord dans un réchauffeur chauffé par les vapeurs du Pauly. L'autre partie de ces vapeurs va au premier corps.

La tension de la vapeur de jus produite par le Kestner est de 1 k. 6. Entre le Kestner et le Pauly se trouve un ralentisseur destiné à recevoir les particules de jus qui pourraient accidentellement être entraî-

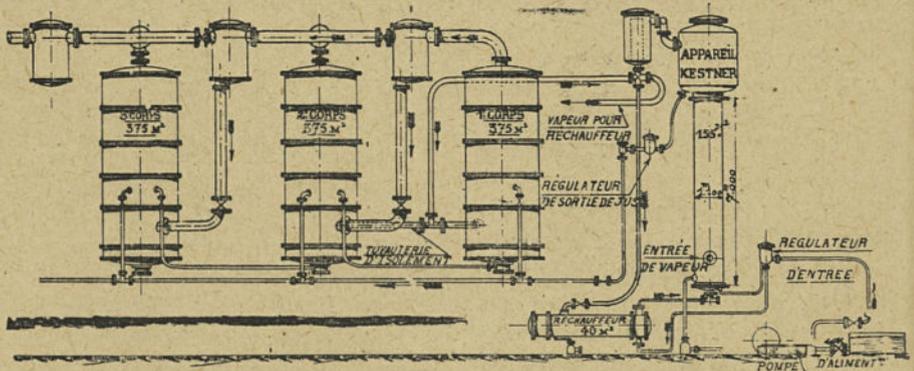


Fig. 321. — Triple-effet avec préévaporateur Kestner et réchauffeur avant évaporation.

nées par la vapeur qui se rend dans la caisse tubulaire de ce dernier appareil. Cette vapeur entre dans le Pauly par deux tuyaux de 250 millimètres, munis de 2 valves de réglage. La température du jus du Pauly est de 115° et la pression de la vapeur est de 750 grammes. La première caisse du quadruple-effet est donc chauffée par de la vapeur

de jus à 115°, de même que tous les chauffages effectués par le Pauly. Les vapeurs de jus du Pauly vont en partie à la première caisse du

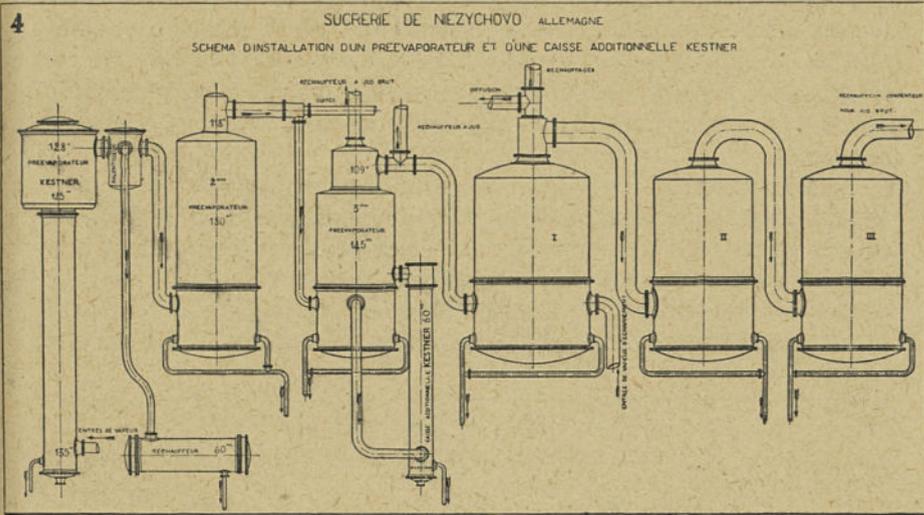


Fig. 322. — Triple-effet à vide relatif précédé d'un triple-effet sous pression dont une caisse Kestner et un circulateur.

quadruple-effet et en partie à la cuite et au réchauffeur de jus d'entrée. La première caisse du quadruple-effet, outre la vapeur de jus du Pauly, est chauffée par la vapeur d'échappement à 0 k. 5 ; la température dans le dôme de vapeur est de 105°. Elle est munie d'un circulateur chauffé également par les échappements.

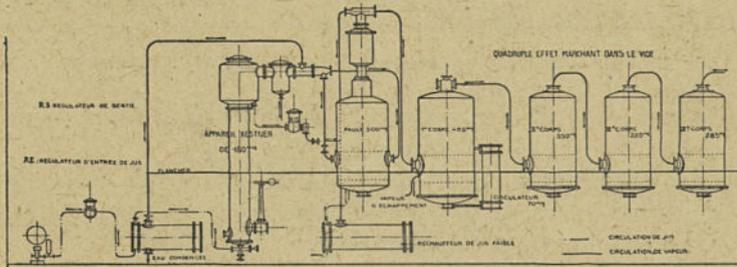


Fig. 323. — Quadruple-effet avec Pauly et Kestner.

La première caisse chauffe la deuxième, un réchauffeur de jus brut, un réchauffeur d'eau pour diffusion et un réchauffeur de jus brut avant deuxième carbonatation. La température dans le dôme de la deuxième caisse est de 87° et le vide de 30 centimètres. La deuxième caisse chauffe la troisième et la batterie de diffusion. Température dans le dôme 80°, vide 44 centim. La troisième caisse chauffe la quatrième caisse. Température 60°, vide 38 centimètres.

La fig. 324 montre deux triple-effets conjugués. En avant de la 1^{re} caisse se trouve un Kestner chauffé par de la vapeur vierge à 2 k. 25 et donnant de la vapeur de jus à 1500 gr. (127°), puis un Pauly chauffé par la vapeur du Kestner, surmonté d'un ralentisseur et émettant de la vapeur à 700 gr. La vapeur du Kestner passe dans un ralentisseur portant un robinet légèrement ouvert à la partie inférieure pour laisser échapper les vapeurs ammoniacales et les gaz incondensables.

Le Pauly chauffe la batterie de diffusion et un réchauffeur dans lequel passe le jus allant à la seconde carbonatation, le 3^e réchauffeur de jus brut, les cuites entièrement et la première caisse du triple-effet. Température dans le dôme de celle-ci 98°, vide de 10 centim.

La première caisse chauffe la 2^e et le 2^e réchauffeur de jus brut. La 2^e caisse (température 83°, vide 36 c/m) chauffe la 3^e. La 3^e caisse

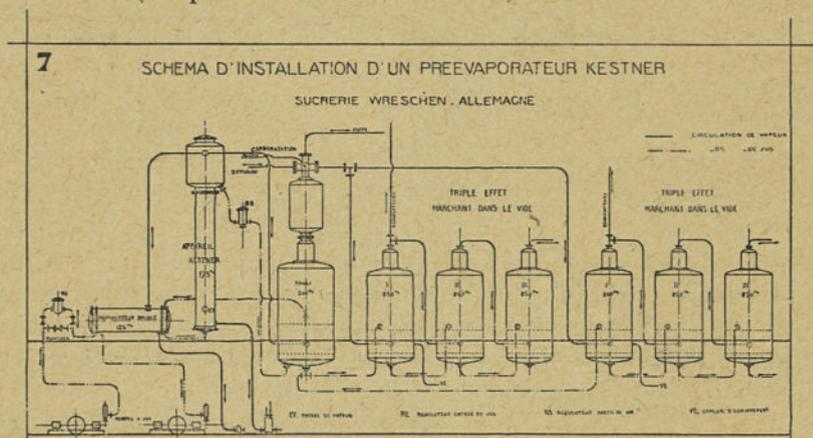


Fig. 324. — Deux triple-effets conjugués précédés d'un Pauly et d'un Kestner.

(température 56°, vide de 63 c/m) chauffe le 1^{er} réchauffeur de jus brut et le réchauffeur d'eau de diffusion.

Les deux premières caisses ne communiquent que par l'échappement de leurs vapeurs de jus, les deuxième et troisième sont indépendantes. La condensation est commune.

Quand on chauffe la cuite au moyen d'un préévaporateur Kestner, une heureuse disposition consiste à monter la caisse Kestner près de l'appareil à cuire et à la faire conduire par l'ouvrier cuiseur.

Procédé de compression Picard et Weibel

Malgré l'emploi des chauffages combinés, le poids de vapeur envoyé au condenseur est encore considérable. Bien avant l'emploi de ces chauffages latéraux, au début même des appareils à effets multiples, Pierre Pelletan en France (1840), plus tard Rittinger, en Allemagne (1857) avaient eu l'idée d'aspirer les vapeurs provenant

de l'évaporation, de les comprimer et de les faire servir à nouveau au chauffage. Cette idée fut appliquée en France par Félix à Sermaize (1871) et en Suisse par Picard et Weibel de Genève (1879). Dans l'appareil Picard le compresseur à mouvement alternatif C, généralement commandé par un moteur hydraulique, aspire les vapeurs dégagées par l'évaporation dans la caisse A et les refoule dans les espaces intertubulaires de cette même caisse (Fig. 325).

Si l'on ne dispose pas d'une chute d'eau, il faut actionner le compresseur par un moteur à vapeur M qui sera à condensation ou dont la vapeur d'échappement servira par exemple à chauffer un appareil à triple-effet dont nous figurons ici la 1^{re} caisse B. L'eau de condensation sortant bouillante de l'espace intertubulaire de la caisse et le jus froid à concentrer traversant un échangeur de température E. Voyons si dans le cas du moteur à vapeur ce système peut encore être très avantageux.

Pendant la détente adiabatique (isentropique) avec production de travail extérieur, une partie de la vapeur se condense. Au contraire,

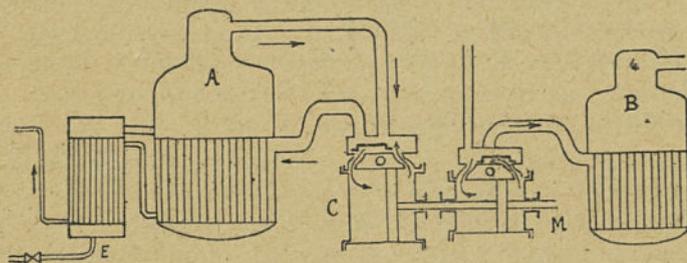


Fig. 325. — Schéma du procédé Picard et Weibel.

pendant la compression adiabatique de la vapeur humide une partie de l'eau contenue dans la vapeur se réévapore, et si la vapeur est sèche elle se surchauffe (Diagramme entropique fig. 327).

De même que pour empêcher la condensation partielle pendant la détente, il faudrait fournir une certaine quantité de chaleur, de même pour empêcher la surchauffe pendant la compression, c'est-à-dire pour maintenir la vapeur à l'état de saturation, il faudrait lui retirer une partie de la chaleur produite.

Désignons maintenant par T et t les températures absolues et finales de la vapeur agissant dans le moteur, t₁ et T₁ les températures absolues de la vapeur qui traverse le compresseur avant et après son passage dans cet appareil. Si Q représente la quantité de chaleur totale contenue dans un kilog de vapeur, la quantité d'énergie P que peut produire théoriquement ce kilog de vapeur par son passage dans le moteur sera, d'après le principe de Carnot :

$$P = Q \times \frac{T - t}{T}$$

Le compresseur étant un moteur renversé, c'est-à-dire transformant l'énergie mécanique en chaleur, la quantité de chaleur Q_1 transportée par une quantité d'énergie mécanique P sera

$$Q_1 = P \times \frac{T_1}{T_1 - t_1}$$

d'où
$$Q_1 = Q \times \frac{T - t}{T} \times \frac{T_1}{T_1 - t_1}$$

On a donc pour le rendement de l'ensemble du moteur et du compresseur ou rapport entre la chaleur Q_1 donnée par le compresseur et la chaleur fournie au moteur :

$$R = \frac{Q_1}{Q} = \frac{T - t}{T_1 - t_1} \times \frac{T_1}{T}$$

Le rendement sera d'autant meilleur que le moteur fonctionnera avec une chute de température plus élevée et que le relèvement de température à produire par le compresseur sera plus faible. En outre, pour une même chute de température, le rendement sera d'autant meilleur qu'on évaporerà à plus haute température.

Le procédé Picard et Weibel exigeait un compresseur de très grand diamètre, encombrant, coûteux et donnant de grandes pertes de calorique par rayonnement dues aux grandes surfaces qu'il est impossible de protéger efficacement.

Procédé Prache et Bouillon. — Dans ce procédé on remplace le compresseur à piston par un compresseur rotatif ou ventilateur à haute pression Sautter Harlé dont le rendement est aussi élevé et qui présente encore d'autres avantages : dimensions réduites, par suite encombrement moindre, moins de pertes par rayonnement et prix d'achat moins élevé, pression rigoureusement constante à l'aspiration (ce qu'on ne saurait produire avec un compresseur à piston qui, par suite de ses grandes dimensions, ne peut tourner à plus de 50 tours à la minute et dont les variations de vitesse du piston se font sentir sur la pression dans l'enceinte d'évaporation, malgré le réservoir formé par la capacité de cette chaudière).

Les compresseurs rotatifs devant tourner à une assez grande vitesse, il est tout indiqué de les accoupler directement à des turbines à vapeur.

Supposons qu'il s'agisse de comprimer la vapeur de 100 à 107°5. Si la turbine est alimentée par de la vapeur à 14 atmosphères à la température de 195°5 et la température du condenseur de 40°, on a pour le rendement :

$$\frac{(273 + 195,5) - (273 + 40)}{(273 + 107,5) - (273 + 100)} \times \frac{273 + 107,5}{273 + 195,5} = 16,85$$

C'est-à-dire que le travail du turbo-compresseur régénèrera la chaleur d'un poids de vapeur égal à 16 fois le poids de la vapeur fournie au turbo-moteur.

Ce chiffre ne tient aucun compte du frottement des pièces en mouvement, ni du fait que le cycle réel n'est pas égal au cycle théorique. Admettons un coefficient de 0,45 pour l'ensemble du moteur et du compresseur, nous aurons un rendement de $16,85 \times 0,45 = 7,40$ soit celui d'un septuple-effet.

Les formules et les calculs précédents montrent l'intérêt qu'il y aurait à faire l'évaporation avec le minimum de chute de température (dans l'exemple ci-dessus $7^{\circ}5$) et par conséquent à simple effet.

Comme il est nécessaire que la concentration soit méthodique, Prache et Bouillon proposent une chaudière tubulaire dont la chambre à liquide ou d'ébullition est divisée par une série de cloisons verticales en un certain nombre de compartiments (7 par exemple).

Tandis que dans les appareils à effets multiples fonctionnent dans le vide, les coefficients de transmission décroissent rapidement à mesure que les températures de la vapeur et du liquide s'abaissent et que la concentration augmente, dans l'appareil ci-dessus le coefficient de transmission conserve une valeur à peu près constante, d'où diminution de la surface de chauffe nécessaire. Il n'y a qu'une seule chaudière, ce qui réduit au minimum les tuyauteries et robinetteries. Il n'y a pas à craindre les rentrées d'eau et on supprime les pompes à eaux ammoniacales et à sirop.

Les sirops sont extraits à 100° C ; il est donc inutile de les réchauffer.

Pour transformer un appareil à effets multiples en appareil simple effet à compression, il n'y a qu'à faire travailler les caisses en quantité au lieu de les laisser en série. On réunit, pour cela, les sorties de vapeur de toutes les caisses en un seul tuyau qu'on relie à l'aspiration du compresseur, lequel refoulera la vapeur comprimée dans un collecteur qui la distribuera dans la chambre de chauffe de chacune des caisses.

On peut aussi prélever une certaine quantité de vapeur sortant du dernier corps d'un appareil à effets multiples et la comprimer pour l'utiliser dans des réchauffeurs.

Malheureusement les dimensions des compresseurs multicellulaires (voir plus loin, pompes centrifuges multicellulaires) devant comprimer de la vapeur à haute pression sont considérables ; le prix d'achat et d'entretien de ces appareils deviennent fort élevés lorsqu'il s'agit d'opérations portant sur des poids aussi considérables que l'évaporation de liquides ou de jus industriels. En outre, le phénomène de la surchauffe rend l'utilisation de la vapeur particulièrement difficile. En prenant de la vapeur exactement saturée à la pression atmosphérique que l'on comprime jusqu'à une pression de 1276 kg. (tension de la vapeur saturée à 106°), on arrive théoriquement à une surchauffe de $13^{\circ}7$; mais l'énergie perdue dans le compresseur se transformant en chaleur, il en résulte un excès de surchauffe de $13^{\circ}8$, en sorte que

la surchauffe est finalement de $13,7 + 13,7 = 27,4$, chiffre très élevé. On a proposé de chercher à saturer la vapeur pendant sa compression à l'aide de jets d'eau lancés dans le compresseur, mais les résultats à espérer de ce procédé sont des plus médiocres, la vapeur d'eau surchauffée et les jets liquides n'offrant aucune tendance à un mélange intime (Jean Ray. Ing. civils).

Au lieu d'un compresseur rotatif, on peut aussi utiliser un appareil à entraînement direct, par exemple un injecteur de vapeur : la vapeur motrice qui travaille dans l'injecteur se mélangeant à la vapeur qu'elle entraîne vient se condenser dans la chambre de chauffe et vaporiser un poids d'eau sensiblement égal à son propre poids. Ce poids d'eau vaporisé doit naturellement être évacué et sert aux divers réchauffages de l'usine.

L'emploi d'un injecteur pour faire l'évaporation a été tenté en 1840 par Pierre Pelletan, mais le rendement de l'injecteur étant insuffisant, l'inventeur ne réussit qu'à se ruiner. Nous

avons déjà parlé de l'emploi de la vapeur directe pour faire fonctionner un injecteur qui aspire la peur de jus et la refoule dans l'espace inter-tubulaire par un injecteur dit thermocompresseur.

En somme trois systèmes d'évaporation sont actuellement en présence :

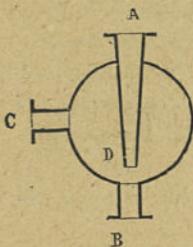


Fig. 326.

Aspirateur Pelletan.

C, Aspiration ; AD, Injection de vapeur ; B, Dégagement de la vapeur.

1° *Le système Rillieux.* — On emploie de la vapeur directe à une pression suffisamment élevée pour que les moteurs puissent fonctionner avec une contre-pression de 1 à 2 kilos. Ce système, conseillé actuellement par Greiner et Bock est uti-

lisé depuis longtemps en Autriche pour assurer toute l'évaporation de la première caisse. Un quadruple-effet fonctionnant ainsi utilise 4 fois la vapeur d'échappement.

2° *Le système Pauly.* — Ce système, conseillé par Claassen, consiste dans l'emploi d'un ou plusieurs préévaporateurs auprès des machines. Il faut pour cela que celles-ci soient assez économiques, c'est-à-dire qu'elles aient un bon rendement de façon à ne pas donner une quantité trop forte de vapeur d'échappement que l'on ne pourrait utiliser.

3° *Le système de la compression.* — Ce système est encore trop nouveau pour pouvoir être jugé sérieusement. Quel que soit le système, l'évaporation est considérablement facilitée par l'emploi d'un appareil à très grand coefficient de transmission, et sous ce rapport le Kestner dépasse de beaucoup tous les résultats obtenus jusqu'à ce jour. Avec cet appareil le système Pauly semble le meilleur en ce sens qu'il donne un travail très élastique et permet l'emploi de vapeur à haute pression sans danger d'altération.

Etude de la compression par le diagramme entropique. — Pour calculer facilement théorique qu'il faut fournir pour augmenter la pression de la vapeur par compression, on se sert avantageusement du diagramme entropique, qui résume sous un four simple les principales propriétés du fluide (fig. 327)

Soit T_1 , la température de la vapeur saturée avant la détente et T_2 la température après la détente qui est supposée adiabatique (isentropique). Si, avant la détente, la vapeur est exactement saturée, le point figuratif se trouvera en C ; après la détente, il sera venu en D tel que $T_2D = T_1C$, puisque l'entropie est restée la même. L'entropie de la vapeur étant maintenant AD au lieu de AE, la vapeur détendue est humide et renferme une proportion d'eau égale à $DE : AE$. Le travail de détente sera représenté par l'aire ABCD.

Si l'on prend de la vapeur non exactement saturée, c'est-à-dire humide, à la température T_2 et représentée par le point D et qu'on la comprime adiabatiquement jusqu'à la pression correspondant à T_1 , le point figuratif viendra en C et le travail de compression sera égal au travail de détente précédent et représenté par l'aire DCBA.

Si la vapeur est exactement saturée à la température T_2 et qu'on la comprime adiabatiquement jusqu'à une pression p , le point figuratif E se transporte en F sur la courbe CF qui représente l'état de surchauffe de la vapeur à la pression p correspondant à la température T_s .

Prenons de la vapeur saturée à la température $t_1 = 106$ (absolue $T_1 = 106 + 273 = 379$ degrés). Détendons-la adiabatiquement jusqu'à $t_2 = 100$ ($T_2 = 373$) — pression absolue $p_1 = 1276$ kg. et $p_2 = 1033$ kg. En appelant comme ci-dessus (p. 356) x et x' les proportions de vapeur sèche avant et après la détente et écrivant que la variation de l'entropie est nulle, on trouve pour $x = 100$, $x' = 98,76$

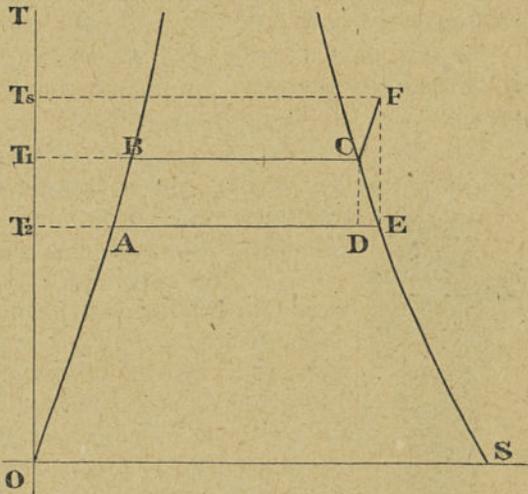


Fig. 327. — Diagramme entropique.

En portant la température à T_2 , T_1 , l'entropie du liquide augmente et devient successivement $AT_2 = CLn \frac{T_2}{T}$, $BT_1 = CLn \frac{T_1}{T}$, mais

l'entropie de la vapeur saturée devient $AE = \frac{r_2}{T}$, $BC = \frac{r_1}{T}$ et comme la chaleur latente diminue, l'entropie diminue également et elle est représentée par une courbe SEC. Si l'on comprime de la vapeur saturée à la température T_2 , le point figuratif E se transporte en F sur la courbe CF qui représente l'état de surchauffe de la vapeur à la pression p correspondant à la température T_s .

donc $100 - x' = 1,34$, c'est-à-dire que la vapeur une fois détendue renferme une proportion d'eau égale à $DE : AE = 1,24$ p. 100.

Et la quantité de chaleur qui disparaît si la détente se fait à travail complet est donnée par la surface du trapèze curviligne ABCD. En négligeant le petit triangle curviligne limité par AB et la verticale passant par B, lequel est excessivement petit pour une faible chute de température, le travail de la détente est représenté en calories par la surface du rectangle ayant pour base BC et pour hauteur $T_1 - T_2$.

$$C = \frac{r}{T} \times (T_1 - T_2) \quad r = 606,5 - 0,7 \quad t_1 = 606,5 - 74,2 = 532,3$$

$$C = 1,404 \times 6 = 8 \text{ cal. } 42.$$

Inversement, la compression de vapeur d'eau à la pression atmosphérique, soit 1 k. 033, renfermant 1,24 p. 100 d'humidité jusqu'à la pression de 1 k. 276 produira de la vapeur exactement saturée à la température de 106 degrés, en consommant un travail correspondant à 8 cal. 42 par kilogr.

MM. Prache et Bouillon, dans tous les cas où il faut comprimer à la vapeur, se servent d'un thermo-compresseur constitué essentielle-

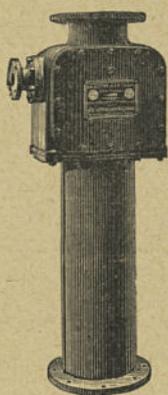


Fig. 328.

ment par une tuyère de détente où la vapeur motrice prend une vitesse correspondant à la chute de pression qu'on lui fait subir. La veine ainsi détendue vient agir dans un mélangeur de forme spéciale où a lieu l'entraînement de la vapeur à comprimer et où s'effectue son mélange à la vapeur motrice. Le mélange des deux fluides pénètre dans une tuyère de compression avec diffuseur, où l'énergie cinétique du mélange se transforme peu à peu en pression pour aboutir à l'orifice de sortie de l'appareil, de façon à obtenir une veine fluide homogène à la pression voulue.

Le rendement mécanique de cet appareil est donné par la formule

$$R = \frac{n T_c}{T_d} - T_d \text{ travail de détente de la vapeur mo-}$$

trice de la pression P à la pression finale P_f — T_c , le travail de compression de la vapeur entraînée calculé de p à la pression P_f .

Ex. : $P = 7$ k. p. = 1 k. 033. $P_f = 1$ k. 276 correspondant à une température saturée de 106 degrés. L'expérience donne, dans ces conditions $n = 2$ kg.

Dans le système des chauffages latéraux décrits plus haut, les prélèvements dans les premiers corps se font au détriment de l'économie de l'appareil évaporatoire, puisque, à partir du moment où la vapeur est prélevée, elle n'agit plus dans cet appareil. Avec le thermo-compresseur, la vapeur, avant de quitter l'appareil, a réalisé deux effets de plus. Comme les prélèvements se font sur les premiers corps, l'avantage du thermo-compresseur est d'autant plus grand que l'appareil

d'évaporation comporte moins de corps. Ainsi dans le cas de simple effet muni d'un thermo-compresseur, la vapeur que l'on prélève pour réchauffages a déjà réalisé trois effets.

Les fig. 331 et 332 représentent un quadruple-effet transformé en appareil avec thermo-compresseurs. Le 1^{er} corps (4 chaudières) est muni d'un thermo-compresseur débitant par heure environ 700 k. de vapeur vive aspirant 1.400 k. de vapeur à la pression atmosphérique dans la chambre d'ébullition du premier corps, et donnent au rofoulement 2.100 k. de vapeur à la pression de la chambre de

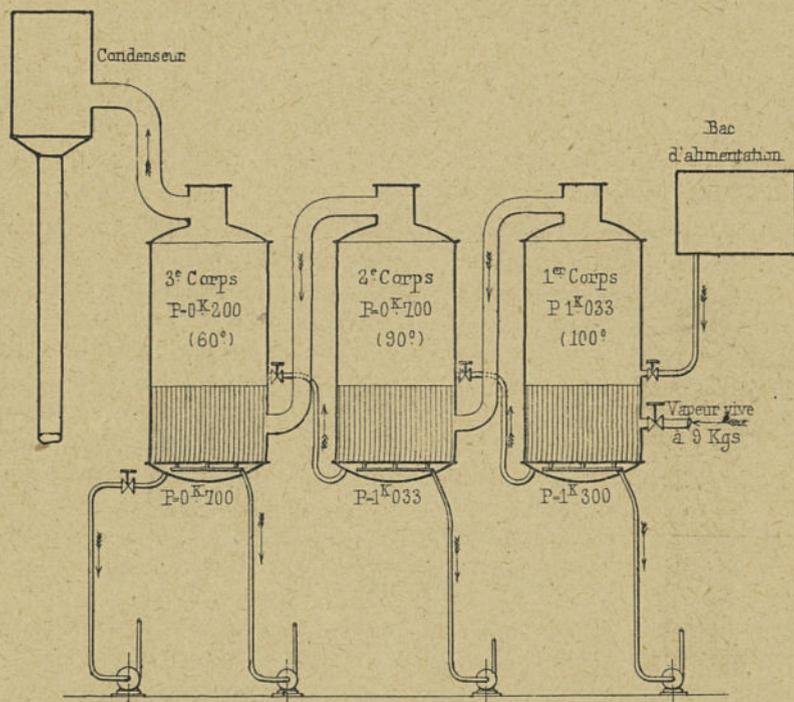


Fig. 329. — Triple-effet ordinaire avec introduction de vapeur vive dans la première caisse.

chauffe du 1^{er} corps, soit 0 k. 250 effectif. La surface de chauffe du dernier corps est réduite à 80 mq. soit au 1/5 de celle du 1^{er} corps et au 1/9 de la surface totale (705 mq.). Avec l'emploi des thermo-compresseurs, l'importance des derniers corps est tellement faible qu'il n'y a plus qu'un intérêt minime à adopter un quadruple-effet plutôt qu'un triple-effet.

Pour travailler dans de bonnes conditions, on doit produire la vapeur à haute pression et ne se servir de vapeur vive que pour les moteurs et les thermo-compresseurs.

Les essais qui ont été faits récemment ont démontré qu'avec les thermo-compresseurs actuels on pouvait avec 1 kilo de vapeur vive

venant des générateurs aspirer et comprimer 2 kilos de vapeur de jus qui, se rendant dans le tambour tubulaire de la caisse, vaporisent ensemble 3 kilos d'eau. La vapeur vierge fonctionne donc à triple-effet, tandis qu'avec un circulateur ou un Pauly fournissant de la vapeur au premier corps, elle agit à simple effet. En plaçant le thermo-compresseur sur le premier corps d'un quadruple-effet, cet appareil fonctionnera en sextuple-effet pour la portion de vapeur directe d'appoint.

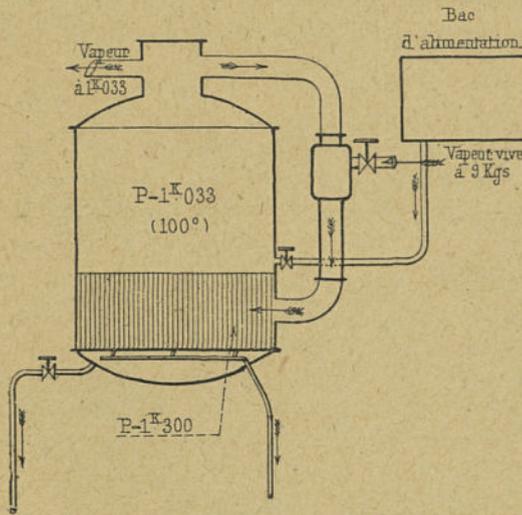


Fig. 330. — Chaudière unique munie d'un thermocompresseur et faisant des chauffages (Prache et Bouillon).

Production de la vapeur en sucrerie. — La vapeur produite en sucrerie sert surtout à produire la force motrice et à faire des chauffages. Les divers types de générateurs que l'on rencontre sont à foyer extérieur ou à foyer intérieur (1).

1° *Générateurs à foyer extérieur.* — Le plus simple est celui à bouilleurs (fig. 333 et 334), excellent appareil, mais avec lequel on ne peut guère dépasser 100 mq de surface de chauffe et qui est très encombrant. Quand l'eau d'alimentation est de très mauvaise

qualité et que l'on dispose de beaucoup d'emplacement, on peut employer le générateur à bouilleurs. Il doit être construit avec hautes communications de façon à permettre la construction de la voûte du foyer en dessous du corps principal et ne comporter aucune partie en fonte.

Pour éviter les dépôts adhérents sur les tôles de coup de feu, on lui adjoint des réchauffeurs.

2° *Générateur semi-tubulaire.* — Le corps principal du générateur à bouilleurs est tubulaire et se termine par deux plaques tubulaires planes. Les gaz, après avoir parcouru la longueur des bouilleurs parcourent les tubes, puis s'en vont à la cheminée en chauffant extérieurement. On ne doit guère dépasser 200 mq. de surface de chauffe.

(1) Consulter l'excellent « Cours de Physique industrielle » par P. Gaillet, professeur à l'Institut Industriel du Nord (Lille 1907).

3° Générateur à tubes d'eau. — L'eau circule dans les tubes. Pour les besoins de la sucrerie, ils doivent être à grand volant. On peut leur donner jusqu'à 450 mq. de surface de chauffe.

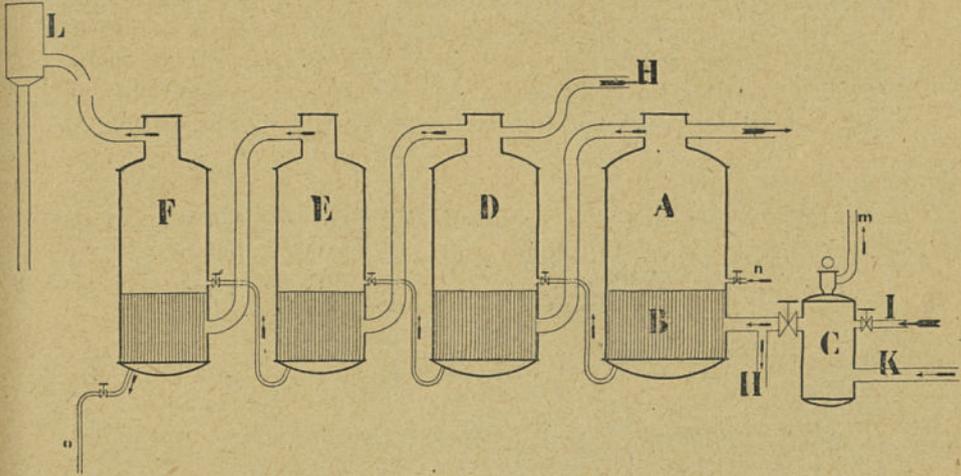


Fig. 331. — Quadruple-effet chauffé par échappements avec introduction de vapeur vive dans le ballon.

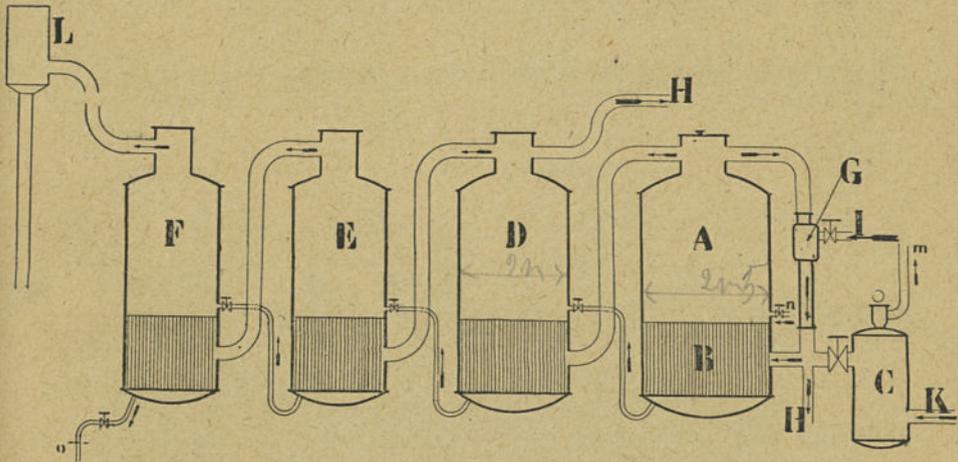


Fig. 332. — Quadruple-effet avec thermo-compresseur et chauffages latéraux (Prache et Bouillon).

A, chambre d'ébullition du premier corps; B, chambre de chauffe; C, ballon des échappements; D, deuxième corps; E, troisième corps; F, quatrième corps; G, thermo-compresseur; H, Tuyauterie de prélèvements de vapeur; I, arrivée de vapeur d'échappement; L, condenseur; m, dégagement de la soupe de sûreté; n, arrivée de liquide; o, évacuation du liquide concentré.

4° Générateurs à foyer intérieur. — On distingue le type *Cornwall* à un seul tube-foyer et le type *Lancashire* à 2 tubes-foyers, que l'on appelle aussi parfois *Fairbairn*. Pour mieux refroidir les gaz, on dispose parfois dans le ou les tubes-foyers des tubes transversaux; c'est le type *Galloway*. Combiné avec un corps tubulaire placé au dessus des tubes-foyers, le générateur à foyers intérieurs donne le type *Tischbein*.

Les générateurs semi-tubulaires sont d'une construction simple qui n'exige pas d'outillage spécial. L'entretien de ce type avec ses tubes démontables est facile. La réparation est très peu coûteuse. L'avarie classique est une bosse aux tôles de coups de feu ; mais on peut y parer, dans les grands établissements, par une épuration préalable des eaux, toutes les fois que leur degré hydrotimétrique est un peu élevé, et, partout, par des nettoyages suffisamment rapprochés. En tout cas, les déformations sont de peu de gravité, tandis qu'une sur-

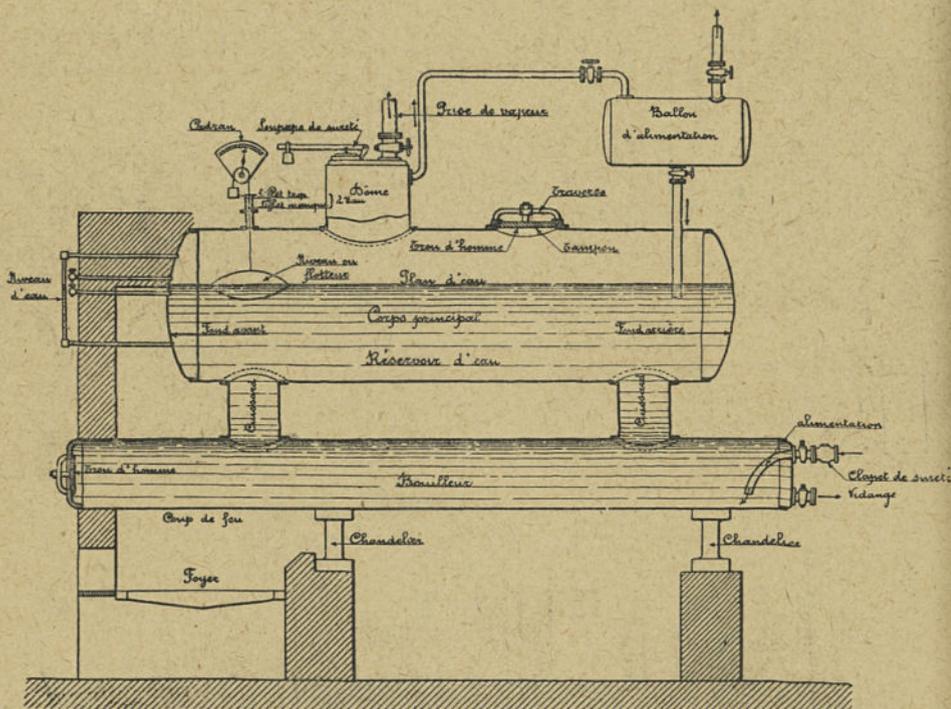


Fig. 333. — Générateur à b. uilleurs avec ballon d'alimentation ou bouteille alimentaire et les garnitures.

chauffe aux ciels de foyers intérieurs, facilitée par la très faible distance verticale du plan d'eau à ces ciels, peut donner lieu, si l'on ne prend pas les précautions voulues, à des écrasements de grande étendue, occasionnant des réparations coûteuses.

Si le générateur semi-tubulaire peut économiquement fonctionner, la plupart du temps, sans réchauffeurs, il est nécessaire, pour obtenir des rendements satisfaisants, de pourvoir les générateurs à foyers intérieurs, même ceux à tubes Galloway, de réchauffeurs ou d'économiseurs, en sorte que la vaporisation par mètre carré de surface de chauffe n'est pas supérieure à celle des générateurs semi-tubulaires. Les générateurs à foyers intérieurs exigent un emplacement beaucoup plus étendu et comportent des frais d'établissement plus considérables

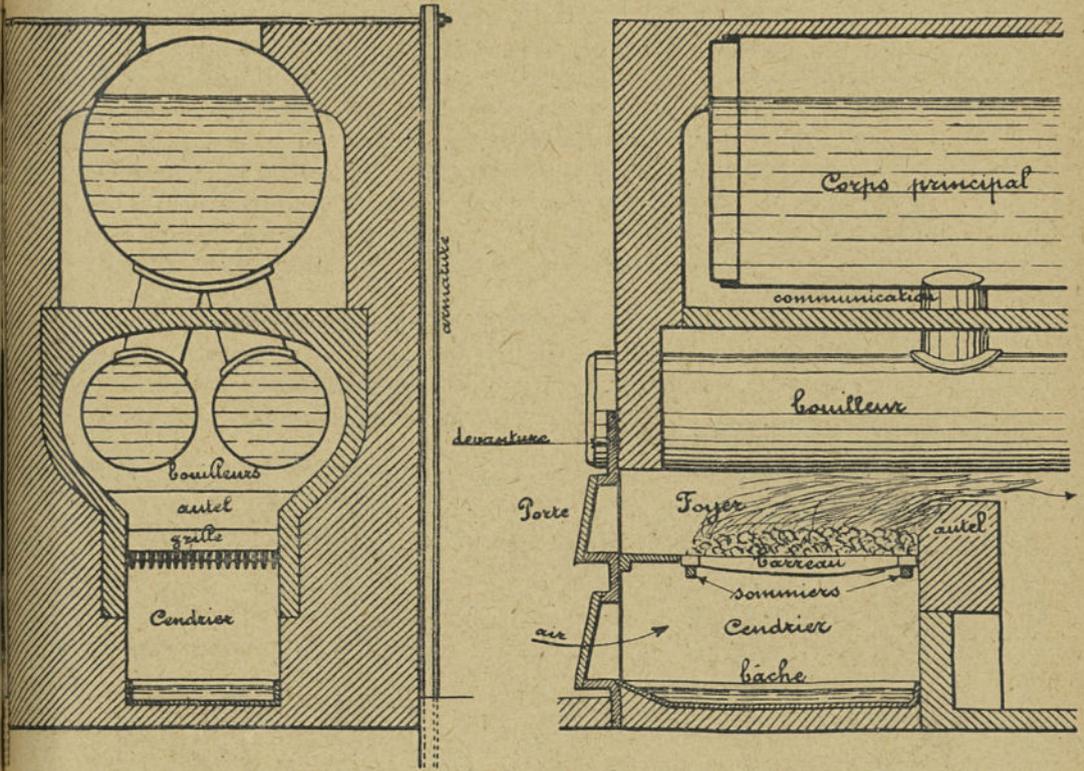


Fig. 334. — Détails du foyer d'un générateur à 2 bouilleurs.

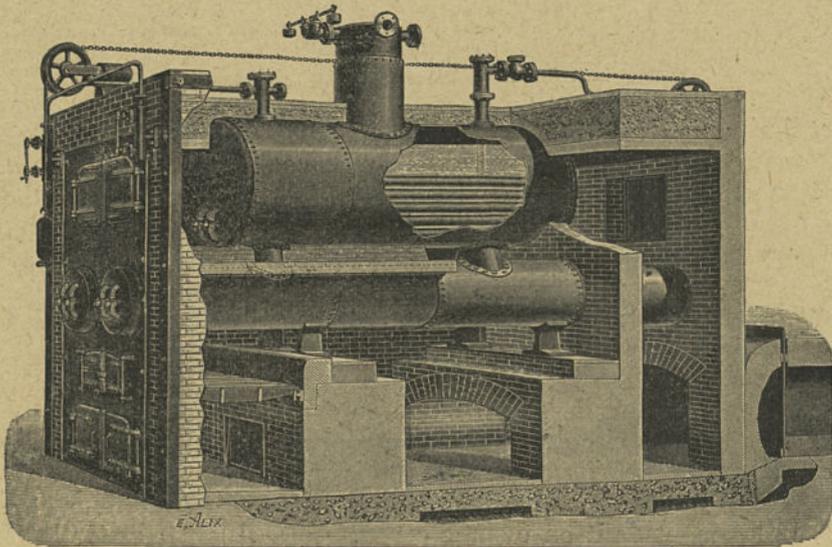


Fig. 335. — Générateur semi-tubulaire (Leflaive & Co).

que les semi-tubulaires. En outre, dans les premiers, il y a une grande inégalité de température de l'eau dans leurs diverses régions. A la partie inférieure, cette température est faible, et il résulte de là des tensions inégales dans les rivures, qui peuvent déterminer des fuites, et, consécutivement, des corrosions extérieures par les suies.

Les générateurs à foyer intérieur ont pour but de supprimer les pertes de chaleur par les massifs de maçonnerie. Quand il n'y a qu'un foyer, on le place de côté, de façon à chauffer plus fortement ce côté, ce qui provoque une circulation favorable à la transmission de la chaleur du métal à l'eau.

Ces générateurs ont l'avantage d'avoir un grand volume d'eau et par suite un grand volant et d'offrir une grande surface à l'évaporation ; de plus, les boues gagnant le fond du corps cylindrique ne sont pas soumises au coup de feu comme dans les autres générateurs,

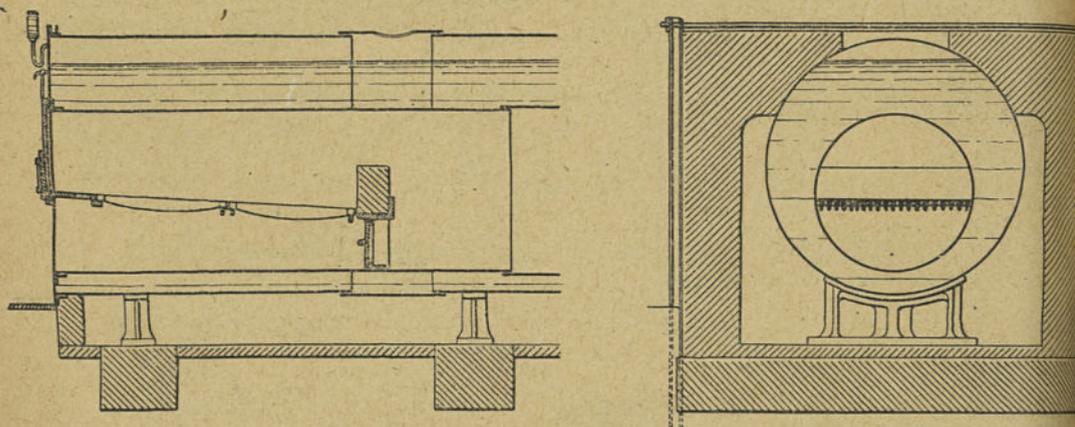


Fig. 336. — Foyer d'un générateur à foyer intérieur système Cornwall.

et il n'y a pas de réparations à faire aux maçonneries. Par contre, la flamme étant refroidie par l'eau, la combustion est moins complète et on ne peut pas brûler des houilles très riches en matières volatiles ; de plus, les gaz qui résultent de la combustion, circulant dans un tuyau de petit diamètre, prennent une vitesse trop grande pour avoir le temps d'abandonner la majeure partie de leur calorique. Pour éviter cet inconvénient, on installe dans le tube-foyer des tubes Galloway de forme conique, placés en quinconce derrière le foyer. Ce système présente l'avantage : 1° D'augmenter la surface de chauffe ; 2° De mieux utiliser le calorique des gaz, en ralentissant leur marche ; 3° D'augmenter la circulation de l'eau, qui monte par les tubes placés les plus près du foyer et descend par les plus éloignés.

Quand on veut employer des générateurs à foyer intérieur et que l'emplacement dont on dispose est restreint, il faut adopter le type semi-tubulaire à foyer intérieur connu en Allemagne, sous le nom de

générateur Tischbein. On le construit à un plan d'eau ou à deux plans d'eau (fig. 338).

Dans le cas de deux plans d'eau, les deux corps sont entièrement

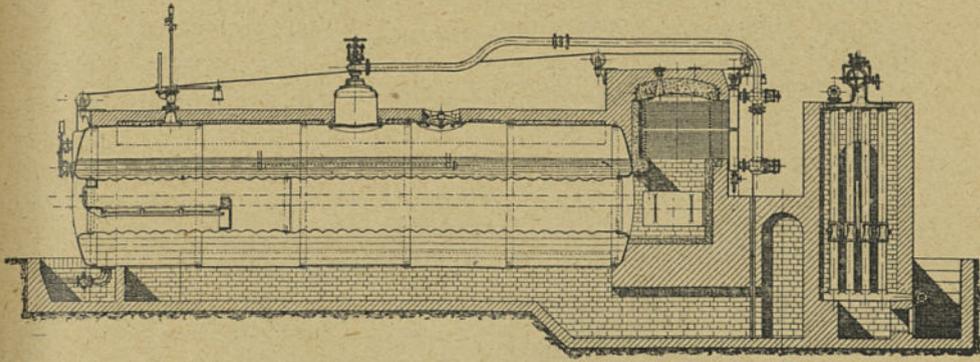


Fig. 337. — Générateur à foyers intérieurs type Lancashire, à tubes-foyers ondulés, avec surchauffeur et économiseur (construction Piedbœuf).

distincts, mais réunis cependant pour l'eau et la vapeur de la façon suivante : d'une part, le corps inférieur est alimenté d'eau au régime

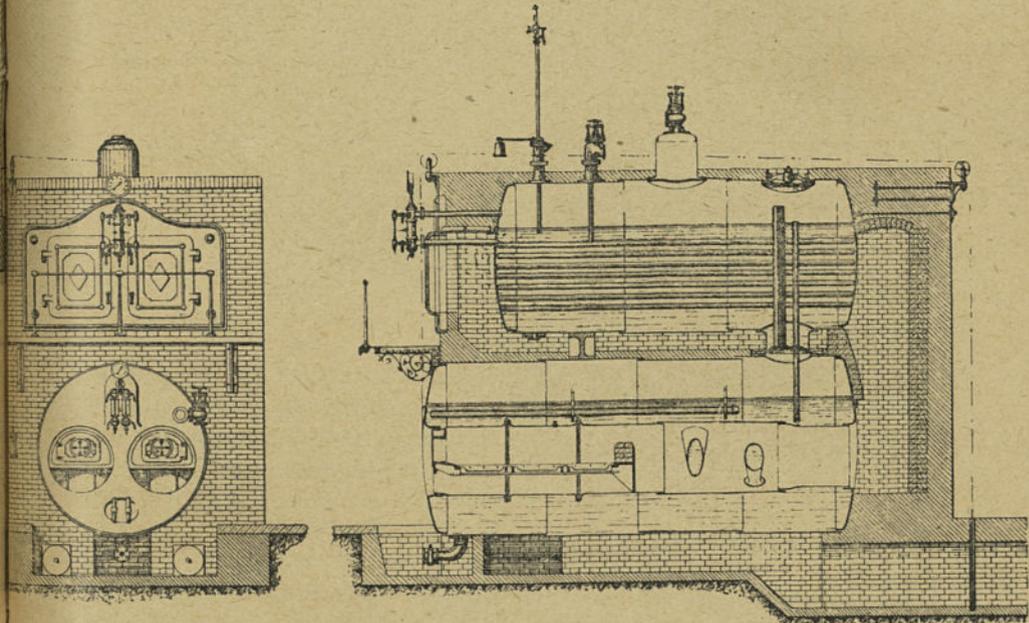


Fig. 338. — Générateur Tischbein à 2 plans d'eau et à tubes Galloway (construction Piedbœuf).

normal par le trop-plein du corps supérieur, qui reçoit seul l'eau d'alimentation ; d'autre part, la chambre de vapeur du corps inférieur communique librement avec celle du corps supérieur. La circulation est donc faible dans le corps supérieur, qui est une sorte de réchauf-

feur tubulaire. Elle est, dans le corps inférieur, la même que si celui-ci recevait de l'eau préalablement réchauffée d'une façon quelconque à une température voisine de l'ébullition. C'est un générateur à circulation lente plus ou moins méthodique. En tout cas, il exige, comme tous les générateurs à tubes, une eau peu incrustante. L'objection faite aux simples foyers intérieurs sans tubes de ne pas utiliser suffisamment les gaz, tombe avec l'adoption du faisceau tubulaire supérieur.

Le générateur Kestner (fig. 339) est construit sur le même principe que les appareils à évaporer du même inventeur. Il se compose de deux réservoirs cylindriques, ou presque cylindriques, réunis par des tubes verticaux. Les gaz circulent transversalement par rapport

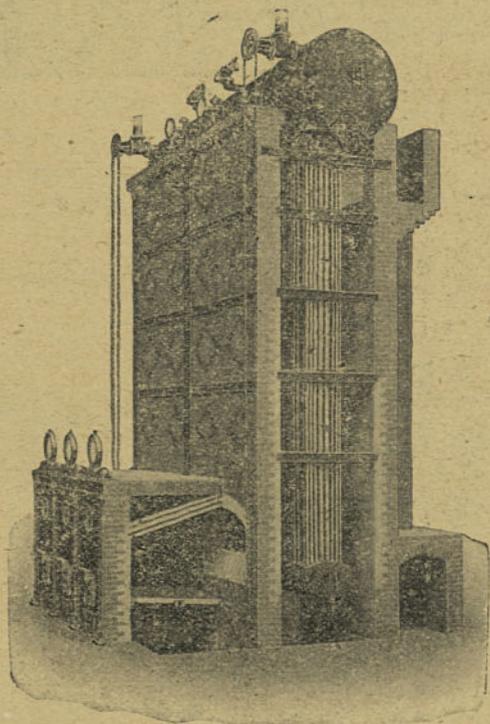


Fig. 339 — Générateur Kestner à grimpage.

ment, produisent chacun la même évaporation et se dilatent de la même quantité. Le collecteur inférieur étant suspendu, la dilatation est absolument libre.

Tous les tubes sont chauffés par le bas et le courant gazeux chemine de bas en haut, dans la même direction que l'eau. Les tubes de retour d'eau qui produisent la circulation, ne sont pas producteurs de vapeur et sont soustraits à l'action des gaz. La vapeur est produite

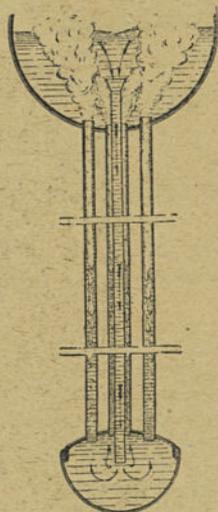


Fig. 340. — Coupe du générateur Kestner.

aux tubes et non parallèlement ; ils abandonnent ainsi très facilement la plus grande partie de leurs calories même avec une vaporisation pouvant dépasser 30 kil. par mq. Tous les tubes sont chauffés égale-

dans les tubes ascensionnels seulement, condition essentielle non seulement de bon fonctionnement d'une chaudière mais aussi de sa sécurité.

Générateur à tubes d'eau avec accumulateur superposé de Babcock et Wilcox. — Dans cet appareil, on a augmenté beaucoup le volant par l'adjonction d'un accumulateur qui peut servir en même temps de réservoir d'épuration et de dépôt des sels et des boues contenues dans l'eau. Au-dessus de deux réservoirs d'eau et de vapeur se trouve un réservoir placé en dehors de l'action des gaz et dans lequel vient barboter par B (fig. 341) et le tuyau perforé CC, la vapeur des réservoirs inférieurs. Elle se rend par V aux appareils d'utilisation. L'ali-

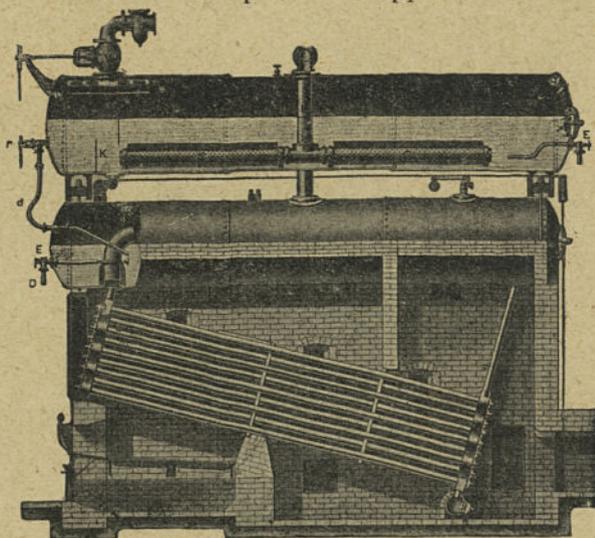


Fig. 341. — Générateur Babcock et Wilcox.

mentation peut se faire directement dans les corps de la chaudière par DE, mais le régime propre consiste à alimenter par E' dans l'accumulateur puis dans les corps de chaudière par a d t. Une cloison K arrête les dépôts. Ce générateur est d'un nettoyage facile à l'intérieur par suite de l'emploi exclusif de tubes droits ouverts à leurs deux extrémités et avec trou de poing en regard de chaque orifice. A l'extérieur on nettoie au moyen de la lance avec jet de vapeur sous pression. Les tubes des semi-tubulaires peuvent être bouchés par la suie, tandis qu'avec les tubes d'eau la suie ne peut s'accumuler qu'en petite quantité, l'excédent tombant de lui-même (fig. 342 et 343).

Comme nous l'avons vu plus haut (p. 244), la résistance totale à la transmission de la chaleur dans un générateur, égale aux trois résistances partielles, est donnée par la formule

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{K} + \frac{e}{C} + \frac{1}{K'}$$

et en pratique on a à peu près $\frac{1}{Q} = \frac{1}{20} + \frac{1}{6000} + \frac{1}{1200}$

La plus grande résistance est celle qui correspond à la transmission de la chaleur des gaz à la tôle. Cette transmission peut s'effectuer de deux façons très différentes. Si le

charbon brûle avec longue flamme, celle-ci vient lécher les parois du générateur et lui cède une certaine quantité de chaleur qui sera transmise à l'eau par conduction au travers de la paroi métallique. Cet



Fig. 342. — Tube de fumée.



Fig. 343. — Tube à eau.

échange de chaleur entre un fluide et un solide prend le nom de

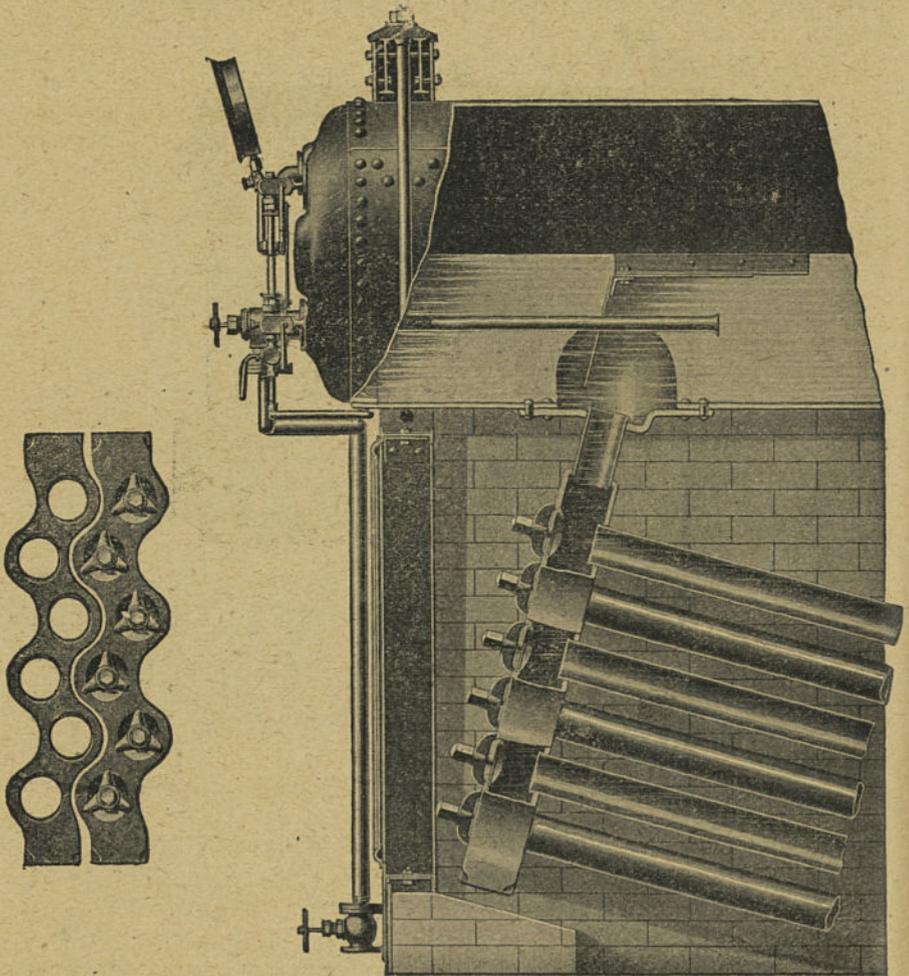


Fig. 344 et 345. — Générateur à tubes d'eau Babcock et Wilcox (coupe).

convection ; or, la convection dans les générateurs est un mauvais moyen de transmission de la chaleur, par suite de la vitesse des gaz, qui ne laisse pas en contact pendant un temps suffisant la flamme et la paroi. La *radiation* qui transmet la chaleur en ligne droite est beaucoup plus efficace, surtout si l'on sait réaliser dans le foyer une température élevée, car l'on constate expérimentalement que la quantité d'énergie calorifique transmise par la radiation d'un corps incandescent croît comme la quatrième puissance de la température. A ce point de vue, comme à celui du volume de fumée produit, les charbons maigres sont préférables, parce que la flamme n'étant pas refroidie par l'évaporation de l'eau, elle atteint plus facilement une température élevée (J. Izart).

En sucrerie, les générateurs ne fonctionnant que durant 2-3 mois, il faut, pendant le temps de repos, prendre de sérieuses précautions contre la rouille. Le mieux est de les nettoyer à fond aussitôt la campagne terminée, puis de les sécher et de les maintenir ensuite parfaitement secs. On arrive facilement à la dessiccation par un courant d'air énergique que l'on peut activer par un feu. Les enduits contre la rouille ne sont guère à recommander. On conseille parfois d'appliquer sur la tôle, à l'intérieur, une couche de goudron, mais l'utilité de cet enduit est douteuse et il est toujours dangereux pour les ouvriers qui l'exécutent, parce que le goudron chaud dégage des gaz facilement inflammables.

Il est impossible d'éviter que des petites quantités de sucre n'arrivent dans les générateurs. Pour protéger ceux-ci contre les accidents qui peuvent en résulter, Claassen conseille de maintenir toujours l'eau des générateurs alcaline par une addition de carbonate de sodium, sans dépasser une alcalinité correspondant à 0 gr. 5 $\text{SO}_4 \text{H}_2$ par litre (en employant l'acide rosalique comme indicateur). Si cette alcalinité baisse beaucoup, c'est un signe que du sucre s'est introduit dans le générateur, et on peut même, d'après la perte de l'alcalinité, calculer la proportion de sucre parvenue dans le générateur, 2 kilos de sucre neutralisant environ 1 kilo de carbonate.

Il est indispensable d'examiner séparément l'eau de chaque générateur, car il se peut très bien que l'un d'eux renferme notablement plus de sucre parce qu'il a été alimenté au moment même où il y avait une forte proportion de sucre dans l'eau d'alimentation. En plus de cela, il faut procéder à un examen général de toutes les eaux des générateurs chaque fois que la vapeur prend l'odeur spéciale résultant de la décomposition du sucre, ou que l'on remarque une augmentation de la coloration de l'eau et que celle-ci se met à mousser. Une coloration brune de l'eau n'est pas par elle-même dangereuse, pourvu que l'eau soit alcaline. L'incrustation calcaire donne à la tôle une certaine protection contre l'action du sucre ; mais elle n'offre pas une sécurité absolue, car elle peut se détacher tout à coup en laissant la tôle complètement à nu.

Pour éviter l'altération des tôles par le sucre, Claassen conseille les moyens suivants :

1° Emploi exclusif des eaux ammoniacales pour l'alimentation et recherche du sucre dans celles-ci aussitôt que, par suite d'une irrégularité dans la travail, le vide n'est plus normal dans le multiple-effet ; 2° Maintien d'une certaine alcalinité dans l'eau des générateurs, par addition de carbonate de sodium à l'eau d'alimentation et détermination fréquente de l'alcalinité de l'eau de chaque générateur séparément ; 3° Arrêt immédiat des générateurs dans lesquels l'eau acquiert tout à coup une forte réaction acide, devient fort brune ou se met à mousser fortement ; 4° Analyse immédiate de l'eau des générateurs aussitôt que l'odeur spéciale ou une forte coloration de l'eau dans les tubes de niveau se montre ; 5° Alimentation au début de la campagne par de l'eau calcaire pour avoir une légère incrustation protectrice de la tôle ; 6° Alimentation par les eaux ammoniacales dès que celles-ci sont bien limpides et incolores.

Pour se débarrasser de l'huile que charrie toujours la vapeur d'échappement on peut employer un bac à trop-plein par lequel l'excès d'eau entraîne l'huile en s'échappant. Il est naturellement à recommander d'apporter la plus stricte économie dans l'emploi de l'huile. La boue huileuse a encore un autre inconvénient, celui de salir les tubes de niveau d'eau ; on évite cet inconvénient par l'emploi d'une tôle recourbée que l'on ploie en avant de l'entrée de l'eau dans le tube. Il y a alors au-dessous de cette tôle un espace dans lequel l'eau est relativement tranquille, en sorte que le dépôt qui s'élève du fond, à cet endroit, est obligé de descendre, pendant que celui qui vient d'en haut est également tenu à l'écart. (H. Claassen, Die Zuckerfabrikation.)

Les chauffeurs de sucrerie étant généralement peu expérimentés et les générateurs ayant à fournir par moment de très grandes quantités de vapeur, on adopte des types peu délicats, à surface de grille faible par rapport à la surface de chauffe et à grand volant (entropie).

En Allemagne on rencontre beaucoup le foyer intérieur et le semi-tubulaire ; en France c'est surtout ce dernier que l'on préfère. Dans les sucreries on trouve en moyenne pour le rapport entre la surface de grille et la surface de chauffe la valeur $1/50$; mais il vaut mieux prendre $1/60$ et même $1/70$. Comme on ne peut jamais empêcher le chauffeur de sucrerie de brûler 100 kg de charbon par heure et par mq de grille, la réduction de la grille et le moyen pratique de réduire et de limiter la consommation par heure et par mq de surface de chauffe. En France, on préfère le semi-tubulaire à 2 bouilleurs avec lequel on ne peut user qu'une quantité déterminée de charbon par mq de grille, étant donné que l'on est tenu par la section des tubes qui ne peuvent laisser passer qu'un volume limité de gaz. On brûle

rarement plus de 90 kgs de charbon par mq de grille ; on ne devrait en brûler que 70 et 50 kgs. L'évaporation est de 15 à 17 k. d'eau par mq de surface de chauffe et par heure. Les gaz ayant le temps de se refroidir à 350° au plus et le générateur est économique.

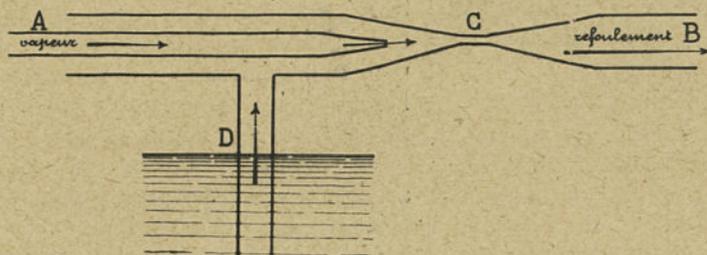


Fig. 346. — Schéma du fonctionnement de l'injecteur Giffard.

La surface de chauffe doit être de 2 mq -00 à 3 mètres carrés par tonne de betteraves.

Alimentation des générateurs. — L'appareil d'alimentation le plus simple est le ballon ou bouteille alimentaire (fig. 333). Ce moyen est rarement employé en sucrerie, mais les automates de Krantz, de Michaelis (fig. 200-1) ne sont que des ballons à fonctionnement automa-

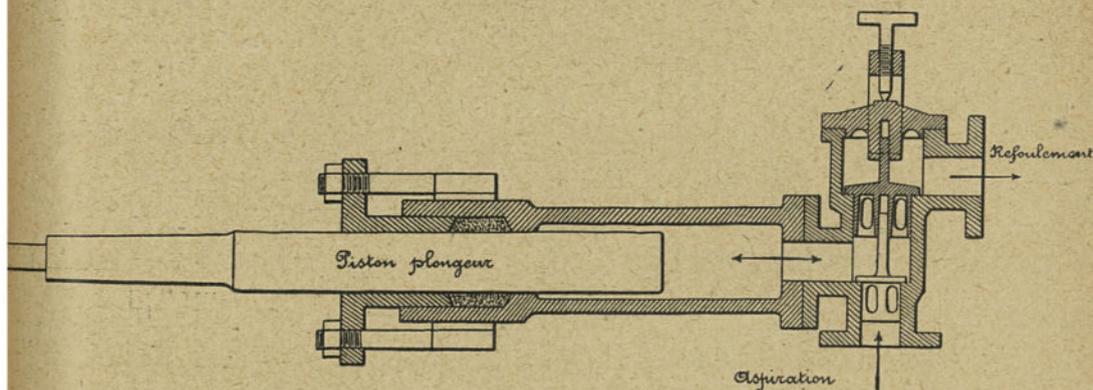


Fig. 347. — Pompe alimentaire à piston plongeur.

tique. Un autre appareil très simple est l'injecteur Giffard, mais dans une industrie où l'on a constamment des eaux chaudes disponibles, cet appareil est rarement utilisé, sauf comme appareil de secours. L'appareil qui convient le mieux est la pompe alimentaire (fig. 347 et 348), que l'on installe de façon que l'eau à pomper soit en charge, ce qui permet d'aspirer de l'eau très chaude sans que la pompe se désamorçe.

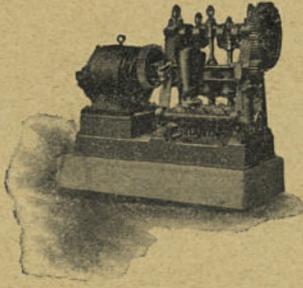


Fig. 348. — Pompe d'alimentation triplex à piston et à commande électrique (Leslaive & Co).

D'ailleurs, dans les meilleurs injecteurs Giffard (fig. 346), la vapeur ne communique à l'eau entraînée que 3 à 4 p. 100 de son énergie cinétique. Si le rendement thermique de cet appareil reste néanmoins fort élevé, cela tient à ce que la chaleur de condensation de la vapeur sert à échauffer l'eau d'alimentation, bien que la communication de l'énergie reste très défectueuse.

On emploie également des pompes avec clapets d'aspiration commandés et des moto-pompes, mais celles-ci consomment beaucoup de vapeur. Enfin le système le plus récent consiste à alimenter à l'aide d'une pompe centrifuge à haute pression.

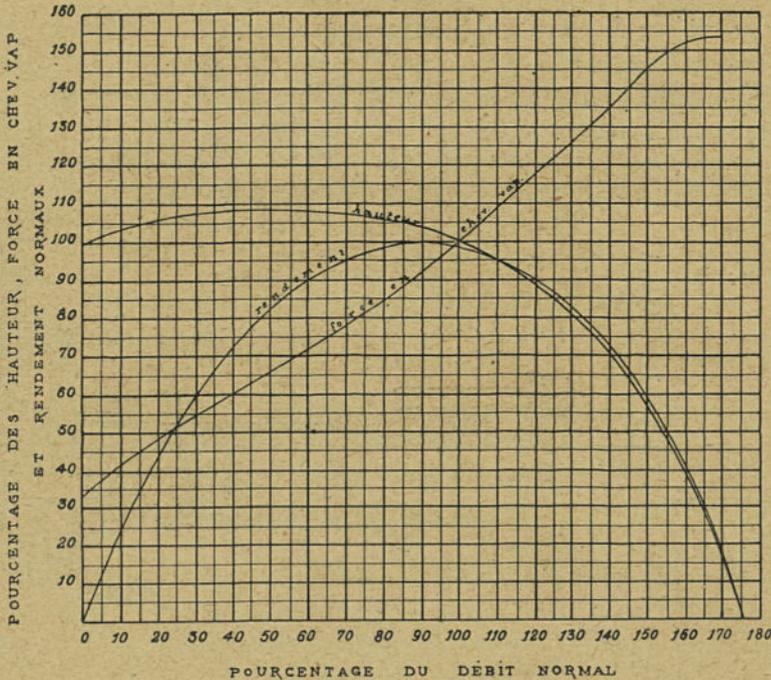


Fig. 349. — Courbes caractéristiques d'une pompe-turbine Worthington marchant à vitesse constante contre une charge et avec un débit variable.

Pompe centrifuge à haute pression

Les progrès réalisés dans la construction des pompes centrifuges ont été très grands dans ces dernières années. Il y a moins de 10 années, l'élévation à grande hauteur était proscrite pour ces pompes, en raison de leur faible rendement. On ne dépassait guère 30 mètres.

Les progrès réalisés consistent en l'emploi de deux dispositifs ayant l'un et l'autre pour but d'éviter les pertes par chocs et remous de l'eau dans la pompe.

Premier dispositif. — C'est celui de la conjugaison (Voir Pompes à écumes).

Dans les pompes centrifuges à turbine unique, celle-ci doit tourner

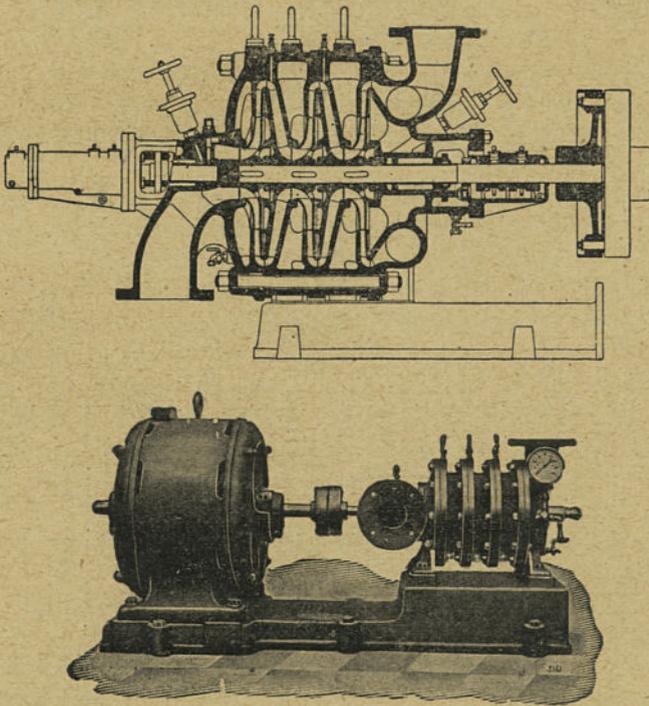


Fig. 350 et 351. — Pompe-turbine centrifuge multicellulaire à haute pression.

à une vitesse circonférentielle au moins égale à celle correspondant à la hauteur d'élévation : $v = \sqrt{2gh}$; la vitesse absolue de sortie

des turbines, composante de la vitesse relative de l'eau dans la turbine et de la vitesse circonférentielle, augmente donc avec la hauteur d'élévation. D'où plus grandes pertes par chocs et remous, au fur et à mesure de l'augmentation de la hauteur d'élévation.

On a eu l'idée de placer, dans un même corps de pompe, plusieurs turbines, le refoulement de l'une se faisant dans l'aspiration de l'autre. On partage ainsi la hauteur d'élévation, en autant de fractions qu'il y a de turbines, chaque turbine produisant le travail correspondant à $\frac{H}{n}$ — H hauteur totale d'élévation, n nombre de turbines.

Les vitesses absolues de sortie étant moindres, les pertes par remous sont moindres également.

Deuxième dispositif. — Quoique diminuée dans chaque turbine par l'emploi du premier dispositif, la vitesse absolue de sortie de chaque turbine a encore une assez grande valeur, 15 à 25 mètres par seconde dans les applications courantes. Pour atténuer cette vitesse, on a employé le procédé appliqué depuis longtemps dans les turbines hydrauliques : on a placé autour des turbines des pompes, des diffuseurs avec ailettes directrices recevant l'eau sans chocs à grande vitesse au sortir de ces turbines, et la laissant évacuer par changement de direction des ailettes dans les conduits périphériques ou adjacents, avec des vitesses ne dépassant pas celle admise pour la circulation de l'eau dans les tuyaux.

Après le dernier impulseur, le diffuseur est prolongé en forme de volute et l'orifice de refoulement est dimensionné pour que la vitesse d'écoulement à cet endroit soit tout à fait normale.

En sus des avantages principaux obtenus par l'emploi des deux dispositifs mentionnés, une autre amélioration dans le fonctionnement en a été la conséquence : c'est la diminution des pertes par fuites. Il existe entre chaque turbine et le corps de pompe, une solution de continuité nécessaire, puisque la turbine est mobile et le corps fixe. Malgré la pénétration, à cette solution de continuité, de la turbine dans le corps, afin d'obtenir des canaux ou chicanes, des fuites du refoulement à l'aspiration se produisent inévitablement. — De ce que la hauteur d'élévation par élément est partagée, les fuites sont évidemment diminuées.

Il y a plus : dans chaque élément, turbine et diffuseur, celui-ci fait fonction d'éjecteur, et la pression dans l'espace situé entre la turbine et le corps est diminuée d'une quantité correspondant à la vitesse absolue de sortie. La pression dans cet espace étant diminuée, les fuites le sont aussi.

Dès qu'on sut éviter les pertes par chocs et remous, on n'hésita pas à employer les grandes vitesses de rotation pour diminuer autant que possible les dimensions des organes.

Toutes les turbines sont calées sur un arbre commun, leur écartement étant réglé par des douilles de buté filetées et réglables. L'arbre tourne dans des paliers fixés aux couvercles et dans des douilles fixées dans les diffuseurs séparant les différents impulseurs.

Ces pompes centrifuges à haute pression peuvent être soit entraînées directement par un moteur électrique ou autre, soit munies de poulies pour être commandées par courroie. Dans ce dernier cas, on place toujours la ou les poulies entre deux paliers indépendants de la pompe qui sont fixés sur une plaque de base ou socle.

Scission de la batterie. — On divise généralement la batterie en deux parties l'une à haute et l'autre à basse pression.

Avec la haute pression, on diminue la consommation de vapeur des machines, on peut employer des moteurs perfectionnés plus puissants, des machines à grande détente dont la consommation de vapeur est très réduite.

On réduit aussi l'importance des tuyauteries de vapeur et par suite les pertes de vapeur par condensation dans les conduites. On fait à ce système les reproches suivants : 1° Les générateurs à basse pression sont d'une conduite difficile et ne présentent pas un volant (entropie) suffisant ; 2° La vapeur à basse pression exige de gros tuyautages et il faut deux tuyautages au lieu d'un. Malgré cela ce système est très répandu. La batterie destinée aux chauffages doit marcher à une pression d'au moins 5 kilogs pour avoir le volant nécessaire et ne pas exiger des sections de tuyauteries exagérées ; celle destinée à la force motrice pourra avoir une pression d'autant plus élevée que le tuyautage sera moins compliqué, on pourra donc la prendre à très haute tension s'il s'agit d'un moteur unique.

La scission de la batterie se fait surtout dans le cas d'une usine dont les générateurs devenus insuffisants, sont encore en bon état. Ces générateurs sont généralement à basse pression, c'est-à-dire timbrés à 6-8 kilos au plus ; pour les compléter on installe des générateurs timbrés à 10-12 kilos, qui fournissent la vapeur pour la force motrice. Dans le cas d'une usine neuve, on préférera généralement installer une batterie unique de générateurs timbrés à 8 kilos au moins.

Dans le système des deux batteries, on emploie avantageusement des déverseurs de vapeur permettant de faire passer l'excédent de vapeur à haute pression dans la batterie à basse pression. Ces appareils ouvrent, à partir d'une certaine pression, par exemple à $1/4$ ou $1/2$ kg au-dessus du timbre des générateurs à haute pression, une soupape qui, quelle que soit la basse pression, évacue l'excédent de vapeur vers le collecteur des basses pressions. Dès que la vapeur en excès est évacuée et que la pression redescend à la limite du réglage du déverseur, la soupape se referme. De petits diamètres d'orifice suffisent pour cet écoulement, car il n'est pas nécessaire que la vapeur conserve sa pression ; le laminage ne présente aucun inconvénient et il évite de faire souffler les soupapes des générateurs à basse pression. Comme il y a des écarts de pression d'au moins 1 à 2 k. entre les collecteurs, cela correspond à des vitesses d'écoulement d'environ 200 à 400 m. par seconde et, comme il s'agit de vapeur à forte densité (6-7 k.) une petite section suffit. Il est prudent de munir le collecteur de basse pression d'une soupape de sûreté capable de débiter toute la vapeur qui peut être fournie par le déverseur, c'est-à-dire éventuellement toute la vapeur des générateurs de haute pression. Le déverseur doit porter un manomètre.

Avec la batterie scindée les machines marchent toujours régulièrement, la pression étant constante. Dans la batterie à basse pression

tantôt les manomètres marquent 6, tantôt 3, quand on prend beaucoup de vapeur, mais cette variation présente peu d'inconvénient puisqu'on n'utilise que de la vapeur détendue.

*Distribution de la vapeur. Calorifuges (Wärmeschützmasse ;
Steam pipe covering)*

Si la détente adiabatique isodynamique n'occasionne aucune perte, par contre les refroidissements extérieurs donnent des pertes considérables pouvant aller au delà de 10 p. 100. On trouve dans certaines sucreries des condensations de 2 k. 5 par mq et par heure dans les tuyaux à vapeur vierge et de 1 k. 5 dans les tuyaux à vapeur de retour, c'est-à-dire plus de la moitié de ce qu'elles seraient dans des tuyaux nus, alors qu'on ne devrait pas dépasser 1/6 à 1/7. Il faut employer de bons calorifuges pour abaisser cette condensation à 1 k au maximum par mq-heure pour la vapeur vive et 0 k. 5 pour de la vapeur de retour.

Le meilleur calorifuge est un revêtement en tresses et bourrelets de soie avec interposition d'une couche d'air confiné. Viennent ensuite les coquilles et briquettes en liège aggloméré bien rejointoyées, puis le feutre de bonne qualité en poils légers. La tourbe et la paille se carbonisent. Les revêtements plastiques à base de Kieselguhr s'effritent, mais conviennent très bien comme première couche incombustible pour préserver de la carbonisation un revêtement de nature animale ou végétale.

La seule perte réelle dans les tuyaux est la condensation par refroidissement ; la chaleur que la vapeur perd par conduction et rayonnement (radiation) du tuyau, et qui se traduit par la condensation d'une partie du fluide se retrouve dans l'air ambiant. L'énergie thermique perdue par frottement se retrouve dans la vapeur. Il y a perte de pression à cause du travail de frottement, mais surchauffe ou assèchement par la retransformation de ce travail, en chaleur. La perte de charge ne peut pas constituer une perte d'énergie puisque la chute de pression qui la traduit et qui représente une diminution de qualité de la vapeur est exactement compensée au *point de vue thermique* par une vaporisation qui en augmente la quantité en en relevant le titre.

Pour le calcul pratique des tuyaux, il faut distinguer deux cas : 1° Si la vapeur doit alimenter une machine à condensation ou à échappement perdu, il faut se baser sur le rendement de la conduite en énergie utilisable (cycle de Carnot) ; 2° Si la vapeur est employée au chauffage, soit directement soit à la sortie des machines, toute l'énergie thermique est utilisable et le diamètre le plus favorable est toujours celui qui donne le maximum de perte de charge compatible avec les conditions d'emploi, c'est-à-dire le diamètre le plus petit possible, car c'est lui qui donne la moindre perte par refroidissement. Les tuyaux servant exclusivement au chauffage doivent avoir

une très faible section, telle qu'à l'extrémité de la conduite, la température de la vapeur réduite par la perte de charge soit encore tout juste suffisante pour donner dans l'appareil la chute de température nécessaire.

Pour les machines, il faut naturellement conserver une pression telle qu'elles puissent développer le travail qui leur est demandé. Si on marche avec une très forte contre-pression, comme le demandaient Rillieux puis Greiner, et comme cela se fait beaucoup en Autriche (voir plus haut) on ne pourra pas trop augmenter la perte de charge ; mais si l'on marche avec une faible contre-pression comme cela se fait dans le cas de l'emploi des préévaporateurs Pauly et comme le conseille Claassen, on est souvent obligé, surtout si les moteurs sont à faible détente, de réduire la pression de la vapeur en étranglant le passage soit à l'aide de la soupape, soit à l'aide de la valve du régulateur, pour maintenir le régime voulu. Dans ces conditions, il y a évidemment avantage à employer un tuyau de section plus faible de manière à réaliser la dépression voulue par la perte de charge elle-même.

Emploi de la surchauffe (Ueberhitzung ; superheating)

On a proposé de surchauffer la vapeur par les gaz chauds allant à la cheminée, mais si les générateurs sont bien installés, les gaz ont une température assez basse et il faudrait, pour les surchauffer, une très grande surface de chauffe. S'il faut installer un surchauffeur à foyer spécial, ce foyer donnera les pertes inhérentes à toute combustion et comme le surchauffeur s'use vite, il sera plus avantageux d'employer de bons calorifuges et ce sera bien plus simple.

Si avec la vapeur surchauffée, le coefficient de transmission est plus faible, la chute de température est plus élevée et par suite le refroidissement sera le même.

Quant à la surchauffe de la vapeur pour les moteurs, elle ne présente aucun avantage, la vapeur d'échappement étant utilisée dans l'appareil d'évaporation, il n'y a pas de quoi payer les frais de la surchauffe.

Il est du reste bien établi maintenant que l'application de la surchauffe à des machines parfaitement construites, ne donne aucun avantage ; elle est surtout utile pour améliorer des machines laissant à désirer.

Avec les moteurs à vapeur surchauffée, l'économie de combustible est compensée, pour une bonne part, par une augmentation de la consommation d'huiles de graissage et par leur prix plus élevé. Il faut aussi tenir compte de la dépense d'installation des surchauffeurs qu'il faut amortir assez rapidement et de leurs frais de nettoyage et de réparation. Le surchauffeur peut s'incruster en dedans si la vapeur qui

le traverse renferme de l'eau entraînée, et il est indispensable de le nettoyer assez souvent à l'extérieur pour enlever la suie.

Cheminée. — La cheminée est encore l'organe généralement adopté pour produire l'appel d'air dans les foyers et évacuer les produits de la combustion.

Pression motrice ou force ascensionnelle ou dépression au bas de la cheminée. — C'est la différence de poids entre deux colonnes gazeuses ayant pour hauteur celle de la cheminée $E = H \left(\frac{d_0}{1 + a\theta} - \frac{d_0}{1 + at} \right)$ (θ temp. extérieure) étant très faible par rapport à t (temp. intérieure), faisons $\theta = 0$, nous aurons $E = H \times d_0 \times a \frac{t}{1 + at}$ d'où $\frac{E'}{E} = \frac{t'}{t} \frac{1 + at}{1 + at'}$. La différence de poids ou dépression, indépendante de la section, est à peu près proportionnelle à celle des températures. On l'évalue généralement en colonne d'eau équivalente, qui varie, en pratique, entre 0 et 50 mm., au grand maximum (50 k. par mq.)

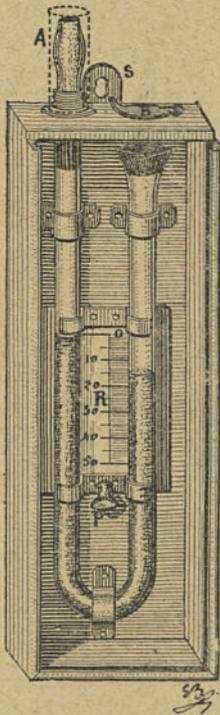


Fig. 352. — Indicateur de dépression (Dubuisson, Lille).

Pour la déterminer sur une cheminée existante, il suffit de percer un trou dans le bas de la cheminée et d'y encastrent un tube à gaz que l'on raccorde à un *vacuomètre*. Le plus simple est un tube en verre recourbé dans lequel on met un peu d'eau ; l'une des branches est raccordée au tube et l'autre est à air libre. On le loge dans une petite boîte fermant par un couvercle à glissière et suspendue par une attache S (fig. 352). La branche A est protégée par une coiffe en cuivre qu'on retire pour faire le raccordement. Pour éviter de régler fréquemment le volume d'eau, une échelle mobile R graduée en mm. se déplace entre les deux branches du tube.

L'appareil Hudler (fig. 353) est lisible à distance. C'est une boîte cylindrique renfermant un papillon diamétral mobile sur son axe longitudinal et qu'un contre-poids réglé dans le bas tend à tenir vertical. Il partage la boîte en deux compartiments. Celui de gauche est traversé par un tube en laiton perforé qui se visse, par le filet arrière sur le tube de raccordement et se serre par un boulon molleté avant.

Celui de droite est ouvert à l'atmosphère par sa moitié inférieure seulement. La suppression de l'air pousse le bas du papillon

d'un certain angle jusqu'à ce que le contre-poids se tienne en équilibre. Une aiguille solidaire du papillon reproduit sur un cadran le déplacement du papillon et indique la dépression en millimètres d'eau.

Vitesse théorique des gaz. — En supposant la température extérieure égale à 0, la vitesse théorique des gaz pour une cheminée de hauteur H est donnée par la formule

$$V = \sqrt{2g E} = \sqrt{2g H} \text{ do } \alpha \frac{t}{1+at}$$

(elle augmente avec la température). Pour une température

$$t' \text{ on a } V' = \sqrt{2g H} \text{ do } \alpha \frac{t'}{1+at'} \text{ donc } \frac{V'}{V} = \sqrt{\frac{t'}{t}} \times \sqrt{\frac{1+at'}{1+at}}$$

Tirage. — Le tirage, ou poids de gaz que débite la cheminée par seconde, est, pour une section S, une température t et une densité

$$d : P = S \times V \times d, \text{ mais } d = \frac{do}{1+at} \text{ d'où } P = S \times V \times \frac{do}{1+at}$$

A une autre température t', on aurait P' = S × V' × $\frac{do}{1+at'}$, d'où

$$\frac{P'}{P} = \frac{S \times V'}{S \times V} \times \frac{1+at}{1+at'}$$

$$\text{En remplaçant } \frac{V'}{V} \text{ par } \sqrt{\frac{t'}{t}}, \text{ on a } \frac{P'}{P} = \frac{1+at}{1+at'} \times \sqrt{\frac{t'}{t}}$$

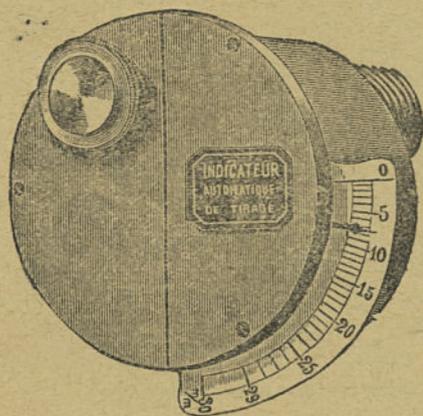


Fig. 353. — Indicateur de dépression (Dubuisson).

Une élévation de température des gaz exerce en sens inverse son influence sur la vitesse et la densité; elle augmente la vitesse mais diminue la densité, en sorte que le débit passe par un maximum (fig. 354); finalement elle n'a qu'une influence assez faible. En abaissant de 200 à 80° la température, le tirage ne serait diminué que dans le rapport de 1 à 0,823.

Les seuls éléments à considérer dans le calcul de la cheminée sont donc la hauteur et la section. Or, si théoriquement la vitesse des

gaz augmente comme la racine carrée des hauteurs, pratiquement, cette augmentation est encore moindre par suite d'une augmentation de la perte de charge; aussi, en pratique, considère-t-on la hauteur de la cheminée comme ayant peu d'importance. Elle est déterminée par des considérations locales. Elle doit être suffisante pour que les fumées se dispersant facilement dans l'air ne viennent pas incommoder le voisinage; et aussi pour dépasser une montagne ou un

édifice voisin capable de contrarier le tirage. On arrive ainsi à 30-40 m. Or, en calculant la dépression pour $t = 200^\circ$, on trouve pour 20

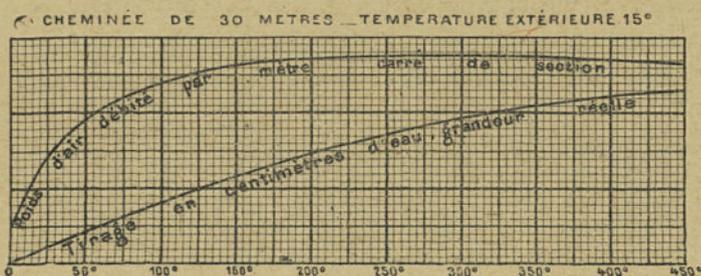


Fig. 354. — Diagramme montrant les variations de la dépression et du poids d'air débité (tirage).

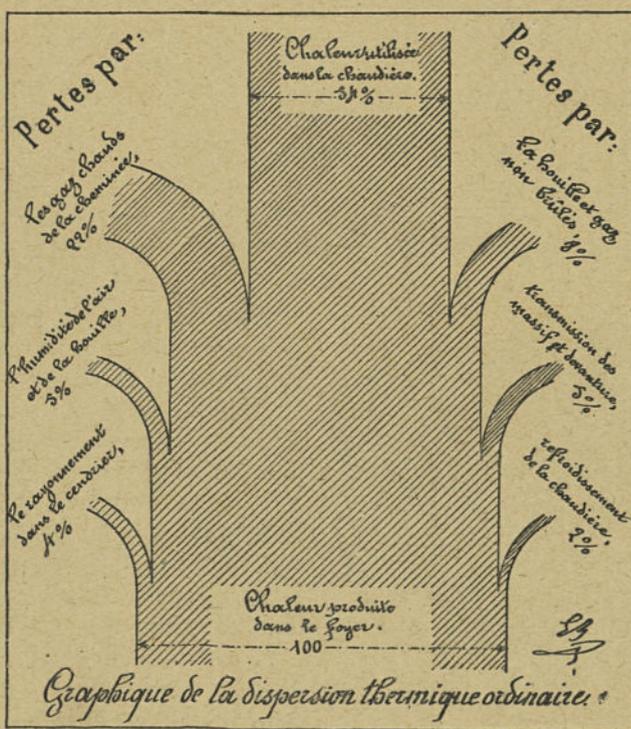


Fig. 355 — Diagramme des pertes de chaleur (d'après J. Izart).

Les 4 branches du bas ont des causes inhérentes à l'installation, ne variant guère et trop peu importantes pour créer des écarts considérables que l'on constate ; l'action du chauffeur est impuissante sur elles. Les pertes par combustion incomplète (gauche, 8 p. 109), sont en partie inévitables, mais les pertes par la cheminée peuvent être fortement réduites par un chauffeur expérimenté.

m, $E = 11$ k. 5 et pour 30 m. $E = 16$ k. 4 ; avec $t = 230^\circ$ on trouve pour 20 m. $E = 11$ k. 8 et pour 30 m. $E = 17$ k. 7, soit 11,5 à 18 millimètres d'eau. En refaisant le calcul pour $H = 45$ m., on trouve

$E = 24,5$ à 26 mm. 5. Donc, une grande surélévation n'augmenterait que peu le tirage.

Une dépression de 6 à 15 mm. au bas d'une cheminée suffit généralement ; quand on brûle du poussier, il faut une dépression de 32 mm. (Lire le bas de la page 252 et voir la figure 209). Une cheminée de 30 m. suffit généralement pour le cas ordinaire ; pour ce dernier cas, il faut 50 mètres. A l'avant du registre on doit trouver une dépression de 7 à 8 mm. et dans le foyer, 4 à 5 mm.

Un dmq de section en haut de la cheminée suffit pour la combustion de $3 \times \sqrt{\frac{H}{10}}$ k. de charbon soit pour 30 m. $3 \times \sqrt{3} = 5$ k. 2 ou 520 k. par mq. La section à la partie supérieure doit être au moins égale au $\frac{1}{4}$ de la surface de la grille.

Section des carneaux. — On compte 35 dmq. par 100 kilos heure de houille à brûler. Minimum, $\frac{1}{4}$ de la surface de la grille.

Section de la grille. — On peut la calculer pour une combustion de 75 k. de houille par mq. et par heure.

On règle le tirage par l'ouverture plus ou moins grande du registre placé sur la gargouille qui va à la cheminée, et qui fait varier la dépression dans les carneaux. Celle-ci est maxima au pied de la cheminée et va en décroissant à mesure qu'on s'approche du foyer où elle tombe souvent à 5-10 mm. d'eau. En augmentant l'ouverture du registre, l'équilibre des dépressions des deux côtés qu'il sépare tend à se produire ; elle grandit du côté du foyer, l'air y afflue plus abondant et la combustion augmente d'intensité. En fermant, on gêne cette tendance à l'équilibre, la dépression diminue dans le foyer, l'air entre moins et la combustion devient moins intense.

Dans beaucoup d'usines, le tirage est trop fort. La combustion s'opère en présence d'un grand excès d'air qui refroidit les produits de la combustion. On peut souvent réduire de beaucoup la dépense de charbon en installant un registre à l'entrée de la grande cheminée. Il faut marcher avec le plus petit tirage possible afin d'avoir les gaz de la cheminée à une température basse (200 à 250°).

Quand on ne peut pas placer ce registre, on peut pratiquer dans le bas de la cheminée un trou dans lequel on met un tuyau de 30 cm. avec une soupape pour laisser entrer plus ou moins d'air. On peut aussi faire une ouverture de 50 × 80 cm. que l'on ferme à volonté par un registre. La dépression au bas de la cheminée étant par exemple de 20 mm., on peut la faire descendre à 18-10 mm. et réaliser une notable économie de charbon.

Un tirage insuffisant a de graves inconvénients ; il faut souvent travailler les feux avec le ringard et beaucoup de charbon non encore brûlé, passe dans les cendres (on peut trouver jusqu'à 60 p. 100 de charbon dans les escarbilles).

Soins aux charbons. — La houille doit être conservée à l'abri de

l'humidité et de la pluie. L'humidité est nuisible : 1° en abaissant la température du foyer par suite de l'absorption de la chaleur que nécessitent son échauffement et sa décomposition ; 2° en emportant dans la cheminée une chaleur perdue d'autant plus considérable que sa chaleur spécifique est plus élevée (0,48). L'exposition au contact de l'air peut produire une oxydation lente, surtout quand l'air est humide, la température élevée, la dose de matières volatiles assez forte et quand le charbon contient de la pyrite. Il peut y avoir inflammation

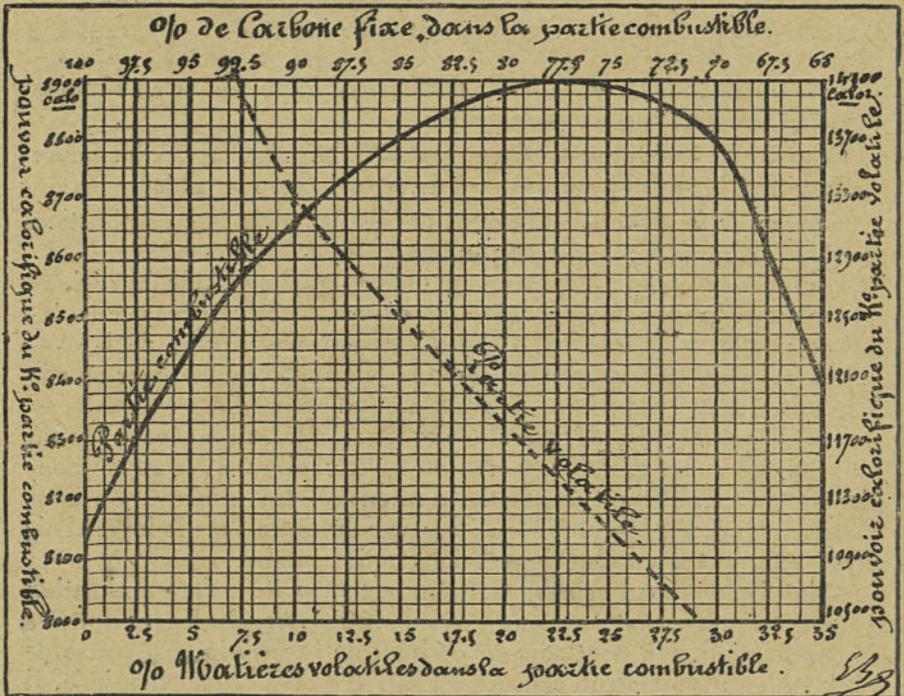


Fig. 356. — Pouvoir calorifique d'un kilo de matières combustibles (E. Baillet). On a porté en abscisses les teneurs en matières volatiles, et en ordonnées les pouvoirs calorifiques des matières combustibles. Le maximum de pouvoirs calorifiques d'un kilo de matières réunies correspond à une teneur en matières volatiles de 22,5 p 100, sommet de la courbe qui monte plus lentement au-dessous de 22 qu'elle ne descend au-dessus de 22. On voit que 1 kilo de charbon à 5 p 100 de matières volatiles peut avoir un pouvoir calorifique aussi élevé qu'à 34 p. 100; de même 17 et 27 p. 100.

spontanée de la houille ; aussi faut-il surveiller l'échauffement par des thermomètres plongeant dans le tas.

Pouvoir calorifique. — Pour déterminer le pouvoir calorifique du charbon, on peut employer la formule de Lenoble : $P = 87,4 (100 - K)$, dans laquelle K représente la somme des pourcentages en cendres et en humidité. Ces deux mesures élémentaires sont faciles à exécuter. Cette formule n'est suffisamment exacte que jusqu'à 8.500 calories avec des combustibles à teneur moyenne en matières volatiles ; au delà, l'exactitude diminue.

CHAPITRE XVI

Résidus de la fabrication du sucre

Extraction du sucre des mélasses

On a imaginé un nombre considérable de procédés d'extraction du sucre des mélasses, mais pour diverses raisons et surtout des raisons fiscales, aucun de ces procédés n'a su jusqu'ici se maintenir dans la pratique, et la mélasse est généralement vendue au distillateur pour la fabrication de l'alcool ou sert à l'alimentation du bétail.

La mélasse, qu'elle soit un égout de 2^e ou 3^e jet, a à peu près la composition suivante :

	I	II	III
Sucre cristallisable (saccharose)	50	47	44
Cendres (matières minérales)	10	10	10
Matières organiques	20	18	19
Eau	20	25	27
	100	100	100

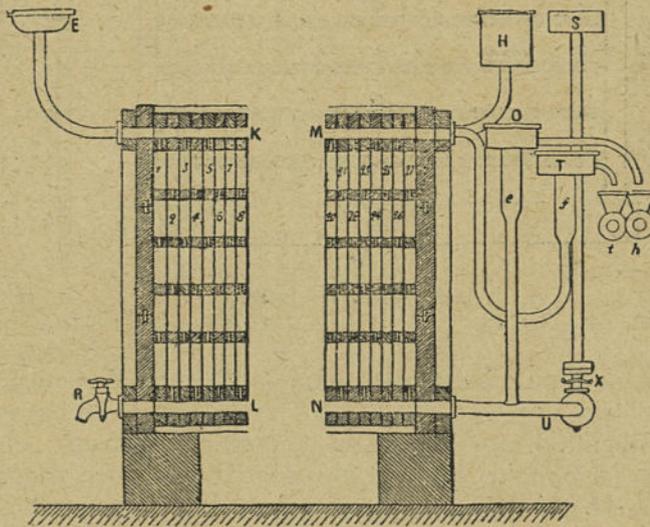


Fig. 357. — Osmogène Dubrunfaut (coupe).

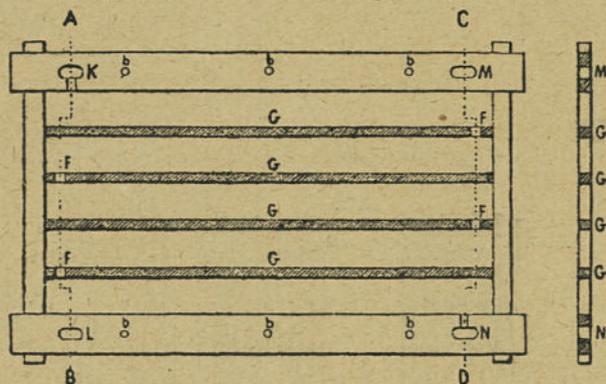
Nous dirons seulement quelques mots de 3 procédés, l'osmose, la séparation Steffen et le procédé à la strontiane.

Osmose. — Ce procédé inventé par Dubrunfaut en 1863, est basé, non pas sur la dialyse de Graham, c'est-à-dire la séparation entre les colloïdes et les cristalloïdes, mais sur l'analyse osmotique de Dubrunfaut : les principes les plus diffusibles, comme les sels, passant plus vite que les moins diffusibles à travers les membranes.

Il se compose de cadres à eau et de cadres à mélasse alternant entre

eux, de manière que chaque cadre à mélasse soit compris entre 2 cadres à eau. Entre 2 cadres consécutifs se trouve serrée une feuille de papier parcheminé s'appuyant sur des fils tendus sur les cadres. Des barrettes G percées de trous F divisent les chambres ainsi formées chacune en 5 compartiments communiquant par ces trous. Les cadres eux-mêmes portent chacun 4 trous KLMN.

L'eau pure et chaude venant du réservoir H (fig. 357) arrive dans l'osmogène par le conduit K, circule horizontalement dans le premier canal, passe par le trou F situé au bout de la 1^{re} barrette, revient à l'autre extrémité du cadre en suivant une direction inverse à la première et ainsi de suite pour sortir par l'ouverture N qui communique avec le tuyau V et le siphon e ; l'eau chargée alors d'impuretés et appelée *eau d'exosmose*, s'écoule dans le tuyau collecteur h. Le tuyau d'air E sert au départ des gaz qui, en formant des matelas, empêcheraient le contact intime entre le liquide et les membranes.



Échelle 0^m,02 pour 1 mètre.

Fig. 358. — Vue en élévation et coupe d'un élément de l'osmogène Dubrunfaut.

La mélasse impure à osmoser arrive du réservoir S et entre chaude dans les cadres à mélasse par l'ouverture L, circule de bas en haut, par conséquent en sens inverse du mouvement de l'eau ; elle sort à l'état de mélasse moins dense et plus pure dite *mélasse osmosée*, par la tubulure M qui communique avec le siphon j, la cuvette T et le tuyau collecteur t. Un autre tuyau d'air parallèle à E laisse échapper l'air emprisonné dans les cadres à mélasse.

L'appareil est lavé tous les 2-3 jours en vidant les cadres par les robinets R, puis en y faisant passer de l'eau très chaude.

La meilleure eau que l'on puisse employer pour l'osmose est l'eau de condensation provenant de la vapeur de jus dans l'appareil à multiple-effet (eaux ammoniacales).

Les mélasses riches en sels de calcium se prêtent mal à l'osmose ; mais on les rend facilement osmosables en les traitant par le sulfite de sodium (A. Rümpler).

L'eau d'exosmose contient beaucoup de sels à acides minéraux et surtout organiques, et peu de sucre. On règle l'entrée de l'eau et la sortie de la mélasse d'après les densités qu'accusent la mélasse osmosée et l'eau d'exosmose qui coulent à jet continu. L'osmose est d'autant plus forte que l'abaissement de densité de la mélasse est plus grand. Tandis que le coefficient salin de la mélasse avant osmose est généralement de 4 à 4, 5, celui de la mélasse osmosée est de 7 à 8.

Les eaux d'exosmose doivent être aussi denses que possible ; si elles sont trop faibles, c'est que l'osmose se fait mal ou bien que l'on met trop d'eau.

La mélasse osmosée étant cuite donne une masse cuite d'osmose ; les eaux d'exosmose étant concentrées au multiple-effet, donnent de la mélasse d'exosmose que l'on peut utiliser pour la fabrication de l'alcool ou comme engrais.

Procédé Steffen modifié par Baker et Béthany

On prépare à basse température un sucrate tribasique de calcium qu'on sépare au moyen d'un filtre-presse et qu'on soumet ensuite à la carbonatation.

L'opération se fait dans une caisse tubulaire en zinc recouverte de bois, à quadruple ou sextuple circulation d'eau froide. Dans le tube central se meut un arbre garni d'une hélice en tôle. Dans la calandre évasée K se trouve un blutoir centrifuge. La chaux, en tombant en poussière impalpable et d'une façon continue sur une très grande nappe de liquide en mouvement, est sollicitée par l'hélice de l'appareil ; elle se combine au sucre sans l'hydrater et par conséquent en développant moins de chaleur. Il faut de 80 à 100 k. de chaux pour 100 de sucre au lieu de 140 dans le procédé primitif. Le sucrate s'écoule d'abord dans une grande cuve à agitateur, à ciel ouvert placée en contre-bas. Enfin, en contre-bas encore se trouve une fosse dans laquelle aspire une pompe horizontale à piston plongeur qui refoule le lait de sucrate aux filtres-presses.

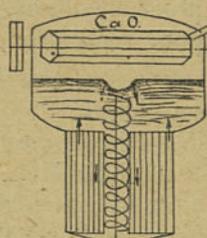


Fig. 359.— Procédé Steffen.

La chaux employée doit être aussi pure que possible et exempte de magnésie.

Les toiles des filtres-presses doivent être changées aussitôt qu'elles commencent à durcir.

Les solutions de mélasse ne peuvent guère dépasser une densité de 14° Brix. Il en résulte cet inconvénient que l'on a des eaux-mères dont l'évaporation serait très dispendieuse ; mais quand on veut travailler en solution plus concentrée, on obtient une précipitation du sucre incomplète ou un saccharate qui se lave mal.

On les perd généralement ou bien on les emploie comme engrais,

mais en les portant à 90° , il se forme un précipité de sucrate tribasique $3 (C^{12} H^{22} O^{11}, Ca O) = C^{12} H^{22} O^{11} 3 Ca O + 2 C^{12} H^{22} O^{11}$, (la chaleur favorise la combinaison de la chaux avec le moins de sucre possible) qu'on peut séparer également par filtre-presse et que l'on ajoute alors à l'autre sucrate. On récupère donc un tiers du sucre contenu dans ces eaux.

Cette récupération ne se fait que dans le cas où il y a avantage à évaporer l'eau-mère et à incinérer le résidu, c'est-à-dire dans le cas où il faut quand même précipiter la chaux.

Pour retirer le sucre du sucrate, on peut simplement carbonater le sucrate délayé dans de l'eau ; mais cette carbonatation se fait mal. Il vaut mieux faire la *dissolution*. En mettant ce sucrate tribasique insoluble dans une solution sucrée, il se forme du sucrate monobasique et si la dose de sucre est insuffisante, il se précipite de la chaux caustique. On peut séparer celle-ci par filtre-presse et carbonater la solution de sucrate monobasique qui s'écoule des filtres-presses. Mais on voit immédiatement que le meilleur mode d'emploi de ce procédé consiste à se servir de ce sucrate pendant le travail de sucrerie pour remplacer une partie de la chaux lors du chaulage.

Procédé à la strontiane, de Scheibler et Reichardt. — La mélasse est chauffée telle qu'elle vient des sucreries et est additionnée d'hydrate de strontiane $Sr O + 9 H^2 O$ pour transformer le sucre en hydrate bibasique. La masse est déversée dans des sucettes formées d'un bac en tôle portant un faux-fond en toile métallique recouvert d'une toile en tissu au-dessous duquel on fait le vide. L'eau-mère s'écoule et on lave le sucrate avec les dernières petites eaux d'une opération précédente. On dirige ensuite les sucettes dans une chambre froide où le sucrate est refroidi à $6-8^{\circ} C$. Il se décompose en sucrate monobasique soluble et en hydrate de strontiane. On vide les bacs et on turbine. Le liquide s'écoule et l'hydrate de strontiane, qui a cristallisé, reste dans la turbine. Quant au sucrate monobasique soluble, on l'envoie dans les chaudières à carbonater où on sature par le gaz provenant de la décomposition par la chaleur du carbonate de strontium. La strontiane est donc constamment régénérée.

Cette régénération se fait, en moulant les écumes avec de la sciure de bois, et en les calcinant au rouge vif dans un four réfractaire circulaire. La chaleur perdue des fours à strontiane chauffe les générateurs de vapeur.

La strontiane caustique, provenant de la régénération des résidus est traitée par l'eau, lessivée et mise à cristalliser pour donner de nouveau l'hydrate $Sr O, 9 H^2 O$.

Les écumes de carbonatation sont envoyées dans des filtres-presses à lavage (p. 181). Le jus sucré qui s'en écoule est envoyé à l'évaporation puis à la cuite.

L'hydrate de strontiane se retire d'un minéral, la *Célestine* ou sul-

fate de strontium $Sr SO^4$ qui, calciné avec du charbon à très haute température, donne du sulfure de strontium que l'on transforme en oxyde.

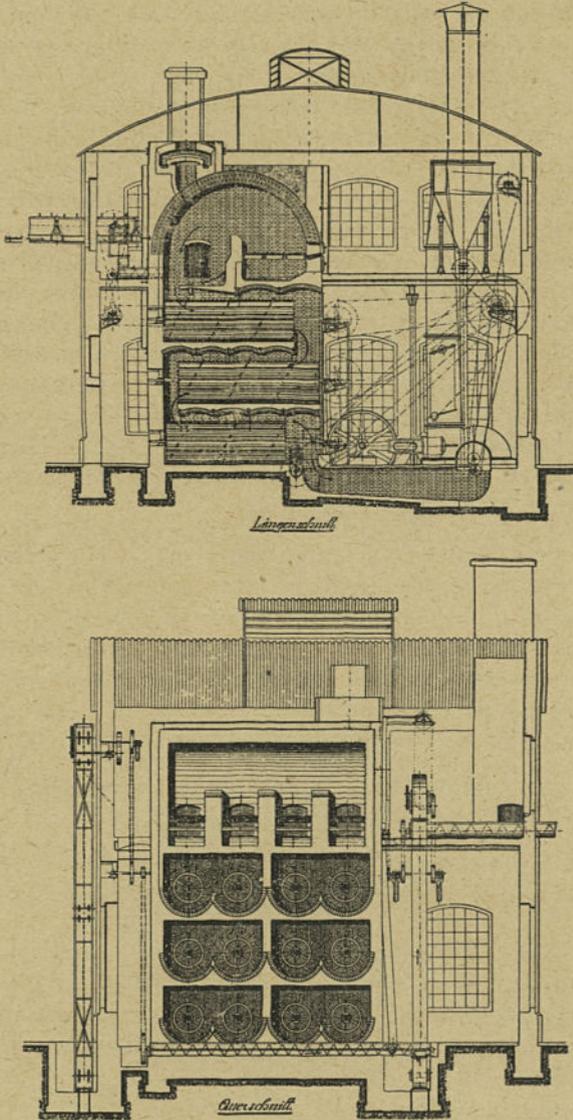


Fig. 360. — Coupe longitudinale et coupe transversale d'un four Böttner et Mayer.

Emploi de la mélasse dans l'alimentation du bétail. — Actuellement on emploie beaucoup de mélasse dans l'alimentation du bétail, notamment des chevaux. On la fait dissoudre dans de l'eau tiède que

l'on donne en boisson ou bien on prépare d'avance des *produits mélassés secs*, en mélangeant la mélasse à des produits secs tels que les radicules de malt, la paille hachée, etc.

La préparation de ces *fourrages mélassés* est difficilement réalisable à la ferme ; non seulement elle exige un outillage et des soins que le cultivateur ne peut lui accorder, mais elle a l'inconvénient d'exiger le transport de la sucrerie à la ferme, de la mélasse, matière demi-fluide, visqueuse qui ne peut se transporter qu'à l'aide de fûts.

A la sucrerie de Toury (Eure-et-Loir), la mélasse, réchauffée à 90°, pour être rendue fluide, est versée à courant continu, dans un mélangeur mécanique, en même temps que l'on fait arriver, dans cet appareil, en proportion convenable, le fourrage auquel on veut incorporer la mélasse. Le mélangeur se compose d'une auge métallique, de 2 mètres de long sur 0 m. 40 de large, garnie d'une enveloppe de vapeur, et dans laquelle tourne un arbre horizontal à bras.

A la sortie du mélangeur, on recueille une matière encore chaude et humide, qu'on laisse en tas pendant quelques heures, ce qui donne un produit homogène et sec qu'on ensache ensuite aussi aisément que du blé, et qui peut se transporter et se conserver facilement.

Dessiccation des pulpes

La pulpe de diffusion renfermant 90 à 95 p. 100 d'eau est généralement pressée aux presses Klusemann, Bergreen, etc., qui donnent de 40 à 60 p. 100 de pulpes contenant de 80 à 86 p. 100 d'eau et par conséquent de 14 à 20 % de substance sèche. Cette pulpe est ensuite généralement expédiée aux fermiers qui la conservent en silos. Si l'on veut expédier ce produit au loin, il faut le dessécher de façon à l'amener à 12 p. 100 d'eau.

Appareil à sécher les pulpes de Büttner et Mayer (Trodden apparat, Drying Kiln).

Cet appareil est fort répandu en Allemagne et se répand également maintenant aux Etats-Unis. Il y en a aussi quelques applications en France.

C'est un four à étages muni intérieurement de 2 séries de palettes tournant en sens inverse à raison de 20 tours par minute et prenant la pulpe pour la projeter en l'air. Elle arrive humide dans la chambre supérieure où arrivent également les gaz chauds provenant d'un four à coke et descend successivement au 2° et enfin au 3°. Le tirage est produit par un ventilateur placé à la partie inférieure.

Il y a donc entre le produit à sécher et le gaz, une marche parallèle et non une circulation méthodique à contre-courants. L'avantage de ce système est que les particules sèches sont entraînées par le courant gazeux et circulent ainsi plus rapidement que les parties encore humides. C'est un point caractéristique de l'appareil de Büttner et Mayer.

Sécheur Huillard. — Il se compose d'une tour cylindrique où

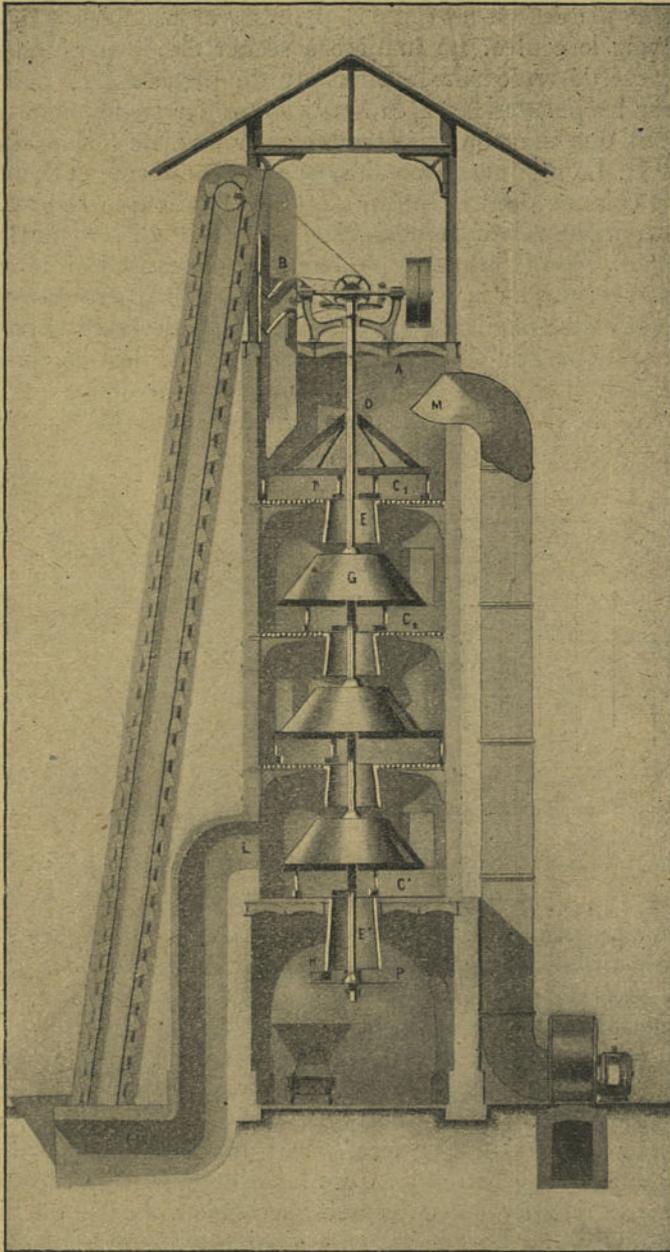


Fig. 361. — Appareil de dessiccation Huillard.

sont disposés horizontalement 3 ou 4 plateaux perforés C₁, C₂ cloi-

sonnant autant de chambres superposées. Dans l'axe de la tour se trouve un arbre vertical D portant des troncs de cône G munis de palettes P placées au-dessus des plateaux et propulsant de la périphérie vers le centre. La matière à sécher élevée par une chaîne à godets, est déversée sur le pourtour du plateau C¹, puis elle est saisie par les palettes P qui la font tomber par l'évidement circulaire E portant une manche tronconique sur la plate-forme du tronc de cône G. Le produit forme alors sur la plate-forme et dans la manche une colonne dont le sommet est fixe tandis que la base tourne. Ce mouvement relatif la désagrège et la fait glisser sur les parois du tronc de cône G jusqu'au pourtour du plateau C¹ où le même jeu recommence jusqu'à la partie inférieure où la matière est extraite.

Les gaz chauds arrivant dans la chambre inférieure C passent par les perforations des plateaux, traversent toutes les couches de matières étalées et remuées sur les plateaux et parviennent à la chambre supérieure où ils sont aspirés par un ventilateur M. La circulation

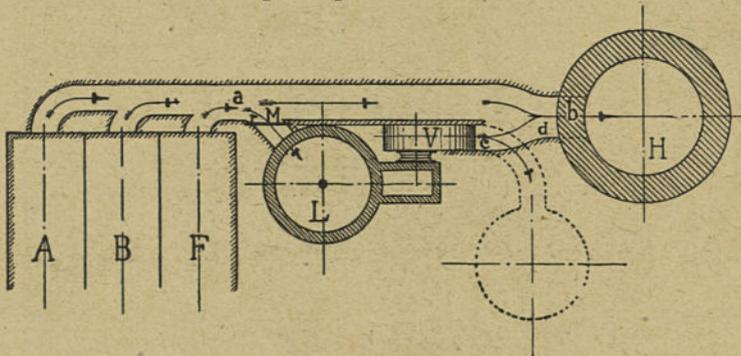


Fig. 362. — Chauffage du four Huillard par les gaz perdus.

est donc méthodique, ce qui est économique, mais a l'inconvénient de mettre la pulpe séchée en contact avec des gaz très chauds.

Chauffage au moyen de chaleurs perdues. — La figure 362 indique la disposition à employer lorsque l'on peut utiliser des gaz chauds (gaz de générateurs, de hauts fourneaux, de fours spéciaux, etc...), ce qui constitue le mode de chauffage le plus économique.

Les générateurs sont en AB... F et envoient, en temps ordinaire leurs gaz à la cheminée H par le carneau *ab*. Au point M de ce carneau, on établit une dérivation avec registre de réglage *r*, amenant au sécheur la masse de gaz nécessaire ; un ventilateur V, qui agit en aspiration sur le sécheur L, assure le déplacement de cette masse et l'envoi par refoulement dans une cheminée spéciale, ou bien dans la cheminée même des générateurs, ainsi que le représente la figure ; dans ce dernier cas, il y a mélange entre les gaz humides et froids utilisés par le sécheur et les gaz chauds non utilisés ; la diminution de tirage causée par l'abaissement de température et la haute teneur en

humidité des gaz mélangés, se trouve aisément compensée par l'effet du refoulement du ventilateur ; d'ailleurs, lorsqu'on cesse d'utiliser le sécheur, les gaz reprennent leur chemin direct *ab*, et le tirage ordinaire se rétablit immédiatement.

Les gaz de combustion constituent une atmosphère renfermant une grande proportion d'azote et d'acide carbonique, avec peu d'oxygène, si la combustion est bien conduite : ils ne risquent donc pas d'altérer les matières mises en contact aussi facilement que de l'air ayant la même température.

Pour parer à cela, on n'amène dans le compartiment inférieur qu'un mélange de gaz chauds et d'air froid qu'on règle vers 100° et dans le compartiment au-dessus les gaz à 250° venant des canaux. Ce grand passage d'air et de gaz détermine un entraînement d'eau vésiculaire, mais il pourrait aussi entraîner des pulpes. On évite cela par une

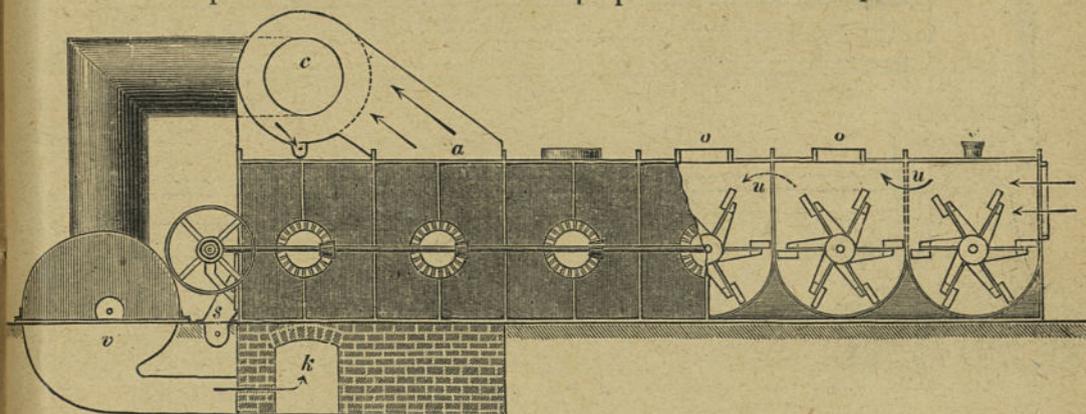


Fig. 363. — Séchoir pour pulpe, système Pétry et Hecking.

chambre à poussière. Les gaz chauds employés sont ceux venant des générateurs. Le sécheur aspire ces gaz.

Une sucrerie de 500 tonnes par 24 heures brûlera à raison de 100 k. par tonne, 50.000 k. de charbon. On admet que les chaleurs perdues à la cheminée représentent 25 p. 100 soit ici 12.500 k. de charbon. Or, le séchage avec les foyers Büttner et Mayer demande 60 k. de charbon par 100 k. de pulpe sèche.

Les 500 tonnes donnent, à raison de 50 p. 100 de pulpe humide ou 5 p. 100 de pulpe sèche, 25 tonnes de pulpe sèche, ce qui exige 15 tonnes de charbon. Les gaz perdus fournissant déjà l'équivalent de 12 tonnes 1/2, il ne reste que 2 t. 5 à fournir, soit 20 p. 100, ce que donne l'appareil grâce aux entraînements d'eau vésiculaire.

Séchoirs Pétry et Hecking. — Dans ce séchoir, les auges, au lieu d'être superposées, sont disposées l'une contre l'autre et portent à leur extrémité des échancrures placées alternativement à droite et à gauche. La pulpe humide entrant par *e* est brassée par les palettes, passe

d'une auge dans l'autre par les échancrures et sort sèche en *s*. La circulation est également parallèle ; les gaz sortent en *a*, traversent une chambre à poussière *c* puis l'exhausseur *v* qui les expulse par le canal *k* (fig. 363).

Cet appareil ne fonctionne bien qu'avec un produit relativement sec, par exemple des pulpes pressées. Quand on veut dessécher des pulpes non pressées, la maison Pétry et Hecking livre un autre appareil qui fonctionne comme suit : Le produit humide entre par une trémie *c*, dans un sécheur préparatoire constitué par un cylindre *A* à double enveloppe, chauffé par la vapeur ; il arrive à l'extrémité de ce cylindre après avoir perdu beaucoup d'humidité, tombe ensuite dans un cylindre extérieur, concentrique et fixe, chauffé également par la

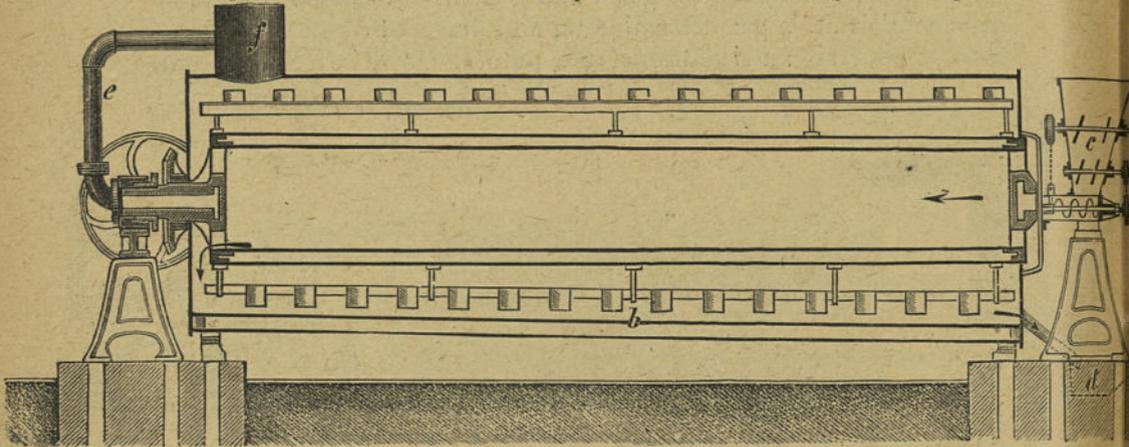


Fig. 364. — Appareil de dessiccation pour matières pâteuses (Pétry et Hecking).

vapeur et saute en *d*. Le tambour tournant porte des godets *b* qui soulèvent la masse et la laissent ensuite retomber. La vapeur produite dans le sécheur préparatoire sort en *ef* et est utilisée pour chauffer à double effet le double-fond du cylindre extérieur (fig. 345).

Conservation des pulpes par les ferments lacto-pulpes. — On sait que l'acide lactique est l'amî de l'estomac et qu'on le développe intentionnellement dans certaines matières alimentaires : choucroute, lait aigre, bière aigre, etc. Bouillaint et Crolbois ont eu l'idée d'éviter les fermentations butyrique, putride, etc., des pulpes en les ensemençant de ferments lactiques ayant leur maximum d'activité. On prend 10 litres d'eau additionnée de sels nutritifs ou 10 litres de jus de betterave coupé de moitié d'eau ; on porte à l'ébullition durant un quart d'heure pour stériliser ; on transvase le liquide dans une bonbonne bien propre qu'on bouche par un tampon d'ouate et on laisse refroidir à 30°. On y verse une culture de ferment lactique et au bout de 48 heures le levain est mûr. On prend 1 litre de ce levain, on l'étend de 9 litres d'eau et au moyen d'un pulvérisateur on les répand sur environ 20.000 k. de pulpe.

Sécheries de cossettes. — Il y a deux systèmes en présence.

Procédé Lajeuille. — Dans ce procédé, on demande à la culture une betterave pauvre que l'on transforme par dessiccation en un four-

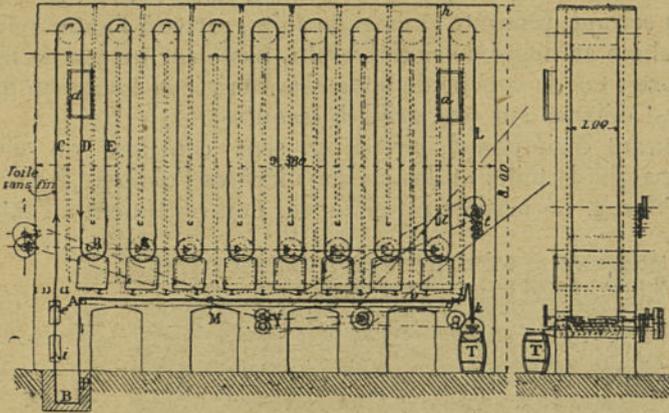


Fig. 365. — Appareil à dessécher les matières pâteuses (Huillard).

rage sucré contenant 45 à 50 p. 100 de sucre. La dessiccation se fait sur un tablier sur lequel tombent les cossettes du coupe-racines et qui se meut dans un four. On peut installer ce procédé dans les sucreries démontées pour exporter vers les pays du Nord, Angleterre, Suède et Norvège ; il sera supérieur aux produits mélassés qu'on commence à employer sur une grande échelle en France.

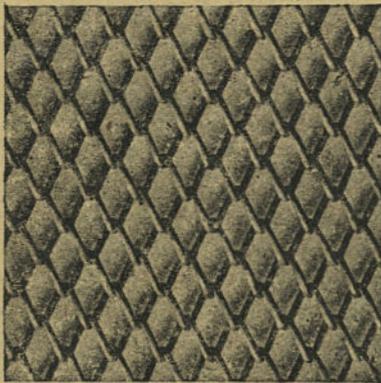


Fig. 366. — Toile du séchoir Huillard à matières pâteuses.

Le four Huillard convient très bien à la dessiccation des cossettes ; il a fait ses preuves, notamment aux sécheries de Coudekerque-Branche près Dunkerque.

Procédé de l'ébouillantage de Steffen. — On extrait de la betterave riche une partie de son sucre, on a comme résidu une cossette qui, séchée, donne un fourrage contenant 25 à 30 p. 100. de sucre.

Utilisation des écumes de carbonatation. — Dans certaines contrées, les écumes se vendent facilement 1 fr. la tonne et même davantage, mais dans d'autres on s'en débarrasse difficilement. Dans ce dernier cas, on peut les soumettre à la dessiccation, de façon à les rendre transportables au loin. A la sucrerie de San Miguel (Ponta Delgada, îles Açores), on dessèche les écumes dans un four Huillard à matières pâteuses, constitué essentiellement par une étuve en maçonnerie de briques ordinaires (fig. 365). Une toile métallique dite *héli-*

coïdale, formée d'un ensemble de spires vissées les unes dans les autres, pénètre pour en ressortir, dans un bac qui contient la pâte à sécher. La toile ainsi garnie passe entre deux lèvres qui régularisent la couche de matière, s'élève verticalement dans l'étuve, tourne autour d'un second, remonte et ainsi de suite, arrive à l'autre extrémité de la machine au degré de siccité voulu, passe sur un jeu de tringles en mouvement où la couche de matière est brisée et tombe en partie ; le reste est détaché sur une grille à secousses.

Un courant d'air chaud circule en sens contraire ou dans le même sens que la toile, et des cloisons légères l'obligent à parcourir tout le sécheur. La matière est chauffée, non seulement à l'extérieur

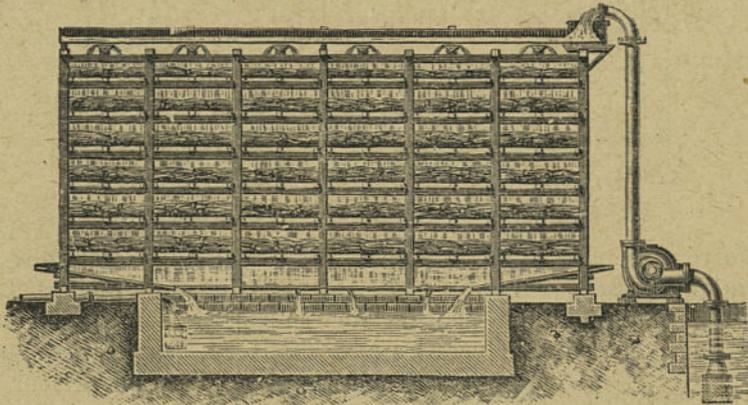


Fig. 367. — Réfrigérant à fascines (Wauquier, Lille).

mais encore à l'intérieur par cette toile de grande conductibilité et le séchage se produit sur les deux faces.

A la sucrerie de Stege (Danemark), le même appareil dessèche des écumes préalablement enrichies par l'adjonction d'eaux résiduares contenant des substances fertilisantes. Il y a 15 rouleaux de 8 m. 72 de largeur et 8 m. 90 de hauteur et d'une distance de 5 m. 50 d'axe en axe.

Elle peut dessécher 31 tonnes d'écumes renfermant 58 p. 100 d'humidité en 21 heures de travail. La dessiccation est faite par les chaleurs perdues de l'usine. Humidité après séchage 13 p. 100. Température moyenne à l'entrée dans le sécheur 250° C ; température au refoulement du ventilateur, 60° C. Production de 15 tonnes de produit sec par 24 heures. Evaporation de 760 k. d'eau à l'heure.

Emploi de l'eau en sucrerie. — La quantité d'eau nécessaire en sucrerie est considérable. Transporteur hydraulique, lavage, diffusion, confection du lait de chaux, lavage du gaz et des écumes, condenseurs, générateurs. Nous avons vu comment on récupère une partie de l'eau nécessaire au transporteur hydraulique par les bassins de décantation. Pour l'eau de condensation, on se sert du réfrigérant à fascines sur lequel on refroidit ces eaux qui servent ensuite à nouveau (fig. 367).

ERRATA

- Page 11, la saccharose, lire le saccharose.
- Page 13, ligne 20, rediront, lire redissout ; ligne 5 en remontant : manque, lire marque.
- Page 14 : $T = 100 + B$, lire $T = 100 + \frac{B}{E}$
- Page 16, figure 9, à retourner.
- Page 19, ligne 16 : angle droit, lire angle α ; ligne 19, $A \cos. \alpha$ lire $a \cos. \alpha$.
- Page 34, ligne 18, lire : mais peu chargée.
- Page 35, ligne 6 : On emploi, lire emploie.
- Page 43, formule + 0, lire + $H_2O + Az H_3$.
- Page 45 au bas, ajouter : en l'analysant par la méthode de diffusion aqueuse instantanée à froid de Pellet (avec emploi du dispositif spécial de Sachs Ledocte).
- Page 46, ligne 21. ajouter de Pellet, ligne 28 d'éther, ajouter : ou mieux par de l'alcool à 96 contenant un peu d'éther.
- Page 47 ligne 4 après cylindre ajouter avec ; ligne 6, ajouter de Pellet.
- Addition :
- Page 77, *Aéro-épierreur* : on a récemment utilisé l'air comprimé pour faciliter la séparation des pierres. Cet air est injecté dans le caisson contenant l'épierreur à bras et facilite le travail de celui-ci. On peut l'injecter également à l'endroit où les betteraves sales arrivent dans le laveur ; cela semble préférable à l'emploi, en avant du laveur de l'hydro-épierreur qui a l'inconvénient de donner une circulation irrationnelle de l'eau, celle-ci devant être mise propre à la sortie des betteraves et non à l'entrée.
- Page 80, ajouter : ce laveur ne peut être employé pour des betteraves argileuses ; il est parfait en Russie, Italie, là où la terre n'est pas adhérente aux racines ; il échoue complètement là où il y a 10 p. 100 de terre plastique.
- Pour l'enlèvement de la paille, du chiendent, etc., on peut employer le dispositif Duflo frères (Maguin).
- Ligne 7... Wenk lire Werk.
- P. 92, ligne 46, 100 à 150, lire 60 à 100 tours pour les appareils de 1 m. 70—2 m. employés actuellement.
- Page 100, 2 dernières lignes à permuter.
- Page 103, ligne 3, ajouter : cependant les cossettes s'altèrent un peu dans ce transport.
- Page 118, ligne 8, 100 l. = 110 l. par 100 kilos.
- Page 118, ligne 18. Omission : Si l'on a n diffuseurs, on peut compter qu'il y en a toujours $n - 1$ en communication. La durée moyenne du contact du jus et de la cossette dans une batterie de 12 diffuseurs sera de

24 h. 60' × 11

$\frac{\quad}{200} = 79'2$ soit 1 h. 20. Enfin la capacité productive d'une batte-

rie ayant des diffuseurs de 65 hectos chargée à 50 kgs de cossettes par hectol. sera en comptant 200 diffuseurs par 24 heures : $50 \times 200 \times 65 = 65 \times 10.000 = 650.000$ kgs = 650 tonnes, soit la capacité des diffuseurs × 10.

Page 119, avant-dernière ligne, canalisateur, lire calorisateur.

Page 125, obturateur, lire obturateur..., dessiccation, lire dessiccation.

Page 130, lignes 8 et 30, page 132, ligne 25 et page 144, ligne 12, ajouter : (A. Aulard).

Page 161, en haut : La proportion de coke employée....

Page 199, ligne 8, en remontant l'alcaline, lire l'alcalinité.

Page 217, la ligne 27 doit être placée après la ligne 24.

Page 247, ligne 11 en remontant C dt, lire d Q..

Page 261, *Filtre à bas*, lire *Filtre à bac*.

Page 282, ligne 10, $\frac{s}{S}$ lire $\frac{S}{s}$

Page 309, ligne 17, δh : lire $v \pi h$.

Page 312, ligne 11 (remontant), pression, lire puissance.

Le tome II contiendra : La fabrication du sucre de canne, le raffinage des sucres, le contrôle chimique en sucrerie, un grand nombre de tables et enfin des additions sur divers chapitres du tome I. Le tout illustré par un nombre considérable de gravures de façon à enseigner par l'image et à diminuer l'aridité du sujet.

Toutes les personnes qui trouveront dans l'ouvrage des erreurs, des lacunes, sont priées de vouloir bien les signaler à l'auteur qui s'empres- sera d'en tenir compte pour le tome II et leur en gardera une vive recon- naissance.



Table des Matières

du Tome I, Livre I

CHAPITRE I

Historique de la fabrication du sucre

CHAPITRE II

Les Sucres

CHAPITRE III

Dosage des sucres

Par la Densité. Degré Balling ou Brix. — Degré Vivien, Polarimétrie	
Lumière polarisée	15-16
Polarimètres Mitscherlich, Dubosq, Laurent	20-21
Polarimètres Lippich, Laurent et Jobin, Dubosc et Pellin	22-23
Eclairage des polarimètres. — Graduation et prise d'essai. —	
Emploi des polarimètres	23-24
Tube continu Pellet. — Tube Schmidt et Hænsch	25-26
Dosage des sucres par les liqueurs cuivriques	27-29

CHAPITRE IV

Origine de la betterave. — Culture. — Engrais

Caractères extérieurs d'une bonne betterave	31
Nature de la terre. — Humus et son influence. — Engrais azotés,	
phosphatés, potassiques	32-36
Préparation du sol, semailles, Binage, Démariage, Saccharogénie,	
Production des graines. — Ennemis de la betterave	37-40

CHAPITRE V

Composition de la betterave

Marc et jus. — Non sucre organique azoté, non azoté. — Matières	
pectiques. — Matières minérales. — Sucres de la betterave	41-44
Analyse-sommaire. — Densité du jus. — Sucre en volume. — Sucre	
en poids du jus. — Sucre en poids de la betterave	45-46
Procédés H. Pellet. — Râpe Pellet. — Râpe Sans-Pareille. — Pro-	
portion de jus dans la betterave. — Cendres. — Quotient salin.	47-48

CHAPITRE VII

Avantages de la betterave. — Extension de sa culture	49-50
Arrachage de la betterave. — Conservation	50-53
Préparation mécanique. — Transport au lavoir. — Transporteur	
hydraulique	54-56
Élévation au laveur. — Élévateur à palettes, à hélice	57-60
Roue élévatrice simple, Mixte. — Hélice mixte	61-64
Enlèvement des eaux boueuses. — Roue à godets. — Pompe centri-	
fuge. — Pompe à piston. — Emulseur à air comprimé. — Bassins	
de décantation et suppression de ces bassins	65-69
Lavage des betteraves. — Laveur à bras. — Hydro-épierréur Loze.	
— Laveur hydro-épierréur Maguin. — Capacité productive des	
laveurs	70-75

Epierreur à bras. — Epierreur à hélice. — Laveur Raude	77-79
Elévation des betteraves lavées. — Elévateur vertical à godets. — Secoueur-Collecteur de radicelles	80-81
Pesage de la betterave. — Balance Chronos	82-84

CHAPITRE VIII

Extraction du sucre de la betterave

Anciens procédés par râpage et pression	85-87
Historique de la diffusion. — Principe de ce procédé	88-90
Coupe-racines à plateurs	91-97
Coupe-racines à tambour non centrifuge ou centrifuge	98-99
Couteaux de diffusion. — Boîtes à couteaux. — Réglage de l'épaisseur des lamelles. — Porte-couteaux épierreurs	100-102
Batterie de diffusion en cercle ou en ligne. — Diffuseurs. — Joint de Dautzenberg. — Diffuseur Cail ou Senelle. — Calorificateurs. — Bacs mesureurs	103-112
Marche d'une batterie de diffusion. — Emplissage. — Meichage. — Vidange. — Soutirage	113-115
Température de la diffusion. — Pression de l'eau. — Volume de jus soutiré. — Capacité productive	116-117
Marche avec circulation renversée. — Diffusion Naudet. — Pompe Schabäver	118-122
Elévation et pressage des cossettes épuisées. — Presses à cossettes Kluseman, Bergreen, Bromberg	123-126
Hélice transporteuse de pulpes. — Eaux résiduelles de sucrerie.	127-128
Procédé d'échaudage de Steffen. — Procédés Hyros-Raak	129-132
Epulpeur Koran. — Epulpeur Wagner	133-134

CHAPITRE IX

Épuration des jus

Défécation. — Procédé Rousseau. — Défécation trouble. — Double carbonatation	135-140
Chaulage. — Contrôle de la fin de la carbonatation. — Température du chaulage et de la carbonatation	141-144
Carbonatation continue Gibert, Naudet, Quarez	145-150
Carbonatation lente. — Ebullition après 2 ^e carbonatation. — Sulfi- tage des jus carbonatés. — Bouillissage des jus. — Ebullition calcique	151-152

CHAPITRE X

Préparation de la chaux et de l'acide carbonique

Four à chaux ancien. — Four à alandiers. — Marche du four à chaux. Four Khern. — Capacité des fours à chaux. — Four pour craie. — Four Mortgat. — Four à gazogènes	153-159
Monte-charge à vapeur. — Pierre à chaux. — Collage des fours ..	160-161
Préparation du lait de chaux. — Appareil Lacouture, Mik. — Tami- seur Moret, Koran	162-163
Balance à lait de chaux. — Bac jaugeur	164
Emploi de la chaux anhydre. — Chaleur Kœnig	165
Pompes à lait de chaux et à jus chaulé	166-167
Pompe à gaz. — Etude de la distribution. — Volume de gaz à pomper. — Dimensions de la pompe. — Travail à fournir. — Ventilateur aspirant. — Tuyauterie du gaz. — Purification du gaz	168-176

CHAPITRE XI

Filtration des jus

Filtres-presses Danek ou à cadres. — Filtres-presses sans cadres. — Désucrage. — Lavage absolu, système Wauquier, Moret, Mollet-Fontaine, Quarez. — Emploi des petits jus	177-190
Monte-jus. — Pompes à écumes. — Enlèvement des écumes. — Capacité productive des filtres-presses. — Filtration difficile ..	191-197
Filtration mécanique des jus clairs. — Filtres Procksch, Kasalowsky, Philippe, Bullof. — Filtration à grande surface de Breitfeld Danek. — Capacité productive des filtres	198-203
Résultat de l'épuration calco-carbonique. — Elimination des sels de calcium. — Triple carbonatation. — Emploi des sels d'aluminium ..	204-206

CHAPITRE XII

Évaporation

Quantité d'eau à évaporer. — Évaporation dans le vide et à effets multiples. — Appareil Rillieux, Robert. — Etude de l'appareil vertical	207-215
Vases de sûreté. — Récupérateur Kœnig. — Faisceau amovible.	216-219
Alimentation. — Extraction du sirop	220
Condenseur ordinaire de pompe à air humide	221-222
Pompe sèche et condenseur barométrique	223-226
Condenseurs à contre-courants. — Enlèvement des eaux condensées et des gaz incondensables	227-228
Gaz ammoniacaux. — Emploi du marais	230-232
Mise en marche et fonctionnement du multiple effet. — Purgeurs automatiques	233-234
Pompes à sirops et à eaux ammoniacales de Bontemps, Duflos, Wauquier	235-237
Retour direct, syst. Krantz, Michaelis	238-240
Théorie des appareils à effets multiples. — Transmission de la chaleur. — Coefficients pratiques	241-245
Energie de la vapeur d'eau. — Répartition de la surface de chauffe. Calcul des surfaces de chauffé. — Calcul des tuyaux de communication	246-253
Appareils à ruissellement Greiner, Canard, Chapman. — Dimensions des appareils verticaux	254-256
Évaporateur à grimpage de Kestner	257-258
Triple-effet horizontal	259
Filtration des sirops. — Filtres à sable Abraham Reinecken et Raimbert. Grevenbroich. Breitfeld Danek	260-263
Appareils d'évaporation mixtes. — Incrustations	264-266
Sulfitation des sirops. — Appareils Moret. Grevenbroich. — Compresseurs d'air Worthington, etc.	267-271
Sulfitation continue Quarez. — Emploi de l'acide sulfureux liquide. — Hydrosulfitation. — Emploi des hydrosulfites cristallisés	272-274

CHAPITRE XIII

Cuite

Cuite au filet. — Cuite en grains. — Appareil à serpents. — Marche de la cuite	
Cristallisation en mouvement. — Travaux de Wulff, Steffen et Raeymackers, etc. — Malaxage de la masse cuite. — Malaxeurs.	275-280
Théorie moderne de la cuite. — Conduite de la cristallisation. —	

Durée de la cuite. — Serrage	281-285
Accidents à la cuite. — Conditions à réaliser pour avoir un travail rationnel à la cuite. — Influence du mouvement	286-289
Thermomètre Fournier. — Condensateur Hodek. — Désucreur Van Ingelandt	290-293
Cuite à multiple-effet. — Appareils modernes à grande surface de chauffe. — Bramoscope	294-299

CHAPITRE XIV

Traitement de la masse cuite

Moulin-délayeur. — Turbines. — Comparaison entre les turbines. — Diamètre du panier. — Démarrage. — Commande hydraulique. Pompe à masse cuite	300-313
Turbinage. — Clairçage. — Traitement et composition du sucre. 314-316	
Traitement des égouts. — Travail avec rentrées. — Séparation des égouts. — Travail avec malaxeurs. — Cuite au filet et malaxage. Description des malaxeurs systèmes Quarez, Bosse. — Procédé Brunehant	317-323
Cuite en grains des 2 ^{mes} jets. — Procédés Simplex, Claassen, Karlik et Czapikowski, Prangey et de Grobert, Lagrange et Kestner	324-331

CHAPITRE XV

Force motrice en sucrerie. — Production et Utilisation de la chaleur

Etude sommaire des moteurs à vapeur. — Emploi de l'électricité. Moteurs série ou shunt. — Moteur triphasé. — Moteurs Boucherot. — Commande des turbines	332-350
Chauffages latéraux. — Calcul sommaire des surfaces de chauffe d'un évaporateur avec chauffages combinés	351-356
Réchauffeurs. — Calcul des surfaces de chauffe et des poids de vapeur condensés	357-361
Emploi de la vapeur directe. — Circulateurs. — Caisse Pauly. — Régulateurs Schneider et Helmecke, Savalle. — Appareil mixte avec caisses Kestner	362-371
Compression de la vapeur. — Compresseurs à piston. Turbo-compresseurs. — Thermo-compresseur Prache et Bouillon	372-379
Générateurs de vapeur à bouilleurs, semi-tubulaires, à foyers intérieurs, syst. Tischbein, Kestner, Babcock et Wilcox	380
Alimentation des générateurs. Pompe centrifuge à haute pression	391-395
Distribution de la vapeur. Calorifuges. Emploi de la surchauffe ..	396-397
Cheminée. Pression motrice ou dépression. Vitesse théorique des gaz. Tirage. Section des carneaux. Section de la grille. Soins à donner au charbon. Pouvoir calorifique	398-401

CHAPITRE XVI

Résidus de la fabrication du sucre de betteraves

Extraction du sucre des mélasses. — Osmose. — Procédé Steffen, Baker et Bethany. — Procédé à la strontiane. — Emploi de la mélasse dans l'alimentation du bétail. — Dessiccation des pulpes. — Appareils Büttner et Mayer, Huillard, Pétry et Hocking	403-410
Conservation des pulpes par les ferments lacto-pulpes. — Sécherie de cossettes	411
Utilisation des écumes de carbonatation	412
Emploi de l'eau en sucrerie	414